

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Aplikace a ověření fyzikálně – mechanických vlastností
hliněných omítek modifikovaných křemičitany**

**Application and verification of physical – mechanical
properties of modified clay plaster by silicates**

Student:

Bc. Jakub Hapl

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tereza Majstříková

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Hapl**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: **Aplikace a ověření fyzikálně – mechanických vlastností hliněných omítek
modifikovaných křemičitany**
**Application and verification of physical - mechanical properties of
modified clay plasters by silicates**

Zásady pro vypracování:

Omítky a další výrobky z nepálené hlíny jsou používány především v interiéru, kde jsou s výhodou využívány jejich kladné vlastnosti, především schopnost akumulovat teplo a propouštět vodní páru. Aplikace v exteriéru a v obdobně exponovaných prvcích je z důvodu nízké odolnosti proti působení vody v kapalném stavu vyjímečná. Z tohoto důvodu je účelem této práce vytvořit hliněné omítky a malty modifikované v celé hmotě nebo povrchově ošetřené pomocí komerčně dostupných křemičitanů a ověřit vliv těchto úprav zejména na pevnostní parametry a vlhkostní chování výrobku.

První část závěrečné práce (teoretická) bude pojednávat o nepálené hlíně, konkrétně o charakteristikách omítek a malt. Dále budou popsány použité křemičitanové modifikace a jejich vlastnosti pro modifikaci materiálu s cílem jeho hydrofobizace. Ve druhé části (praktické) budou experimentálně stanoveny vybrané pevnostní a vlhkostní vlastnosti modifikovaných a povrchově ošetřených hliněných malt i omítek exponovaných v podmínkách exteriéru a interiéru.

Seznam doporučené odborné literatury:

- Chybík, J. Přírodní stavební materiály, Praha: Grada, 2009, ISBN 978-80-247-2532-1.
Kolektiv autorů – Organokřemičitanové modifikace v české památkové praxi, Praha: NPÚ, 2008, ISBN 978-80-87104-15-6.
Kolektiv autorů – Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. díl, Praha: Idea servis, 2008, ISBN 978-80-85970-62-3.
Rovnaníková, P. Omítky - Chemické a technologické vlastnosti, Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002, ISBN 80-866657-00-0.
Witzany, J., et al. PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce, Praha: ČVUT, 2010, ISBN 978-80-01-04488-9.
Žabičková, I.: Hliněné stavby, Brno: ERA 21, 2002, ISBN 80-86517-21-7.
ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty (2007).
ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty (2007).
ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku (2007).
ČSN EN 1015-12 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu (2000).
ČSN EN 1015-18 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě (2003).

ČSN EN 1015-21 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 21: Stanovení soudržnosti malt pro jednovrstvé vnější omítky s podkladem (2003).

ČSN EN ISO 12570 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě (2014).

ČSN EN ISO 12571 Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků - Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností (2014).

ČSN EN 13914-1 Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek - Část 1: Vnější omítky (2006).

ČSN EN 13914-2 Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek - Část 2: Příprava návrhu a základní postupy pro vnitřní omítky (2006).


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tereza Murínová**

Datum zadání: 28.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015




Ing. Libor Židek
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámena s tím, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

Anotace

Hliněné omítky nachází opět po dlouhé časové odmlce uplatnění a to nejen u starých budov, ale především u novostaveb. Velkou měrou se o to zapříčinil zájem o ekologické stavby a přírodní materiály nejen u odborníků, ale především u běžných uživatelů.

Značnou nevýhodou hliněných omítek a jiných výrobků z nepálené hlíny je špatná odolnost v exteriérovém prostředí a v kontaktu s vodou v kapalném skupenství, kdy dochází k vyplavování části hliněného produktu. Diplomová práce se zabývá právě modifikací hliněných omítek hydrofobními prostředky na bázi křemičitanů. Účelem tohoto zásahu je zlepšení trvanlivosti těchto omítek a rozšíření jejich aplikace jak v interiéru, tak exteriéru při současném zachování typických výhodných vlastností (především regulace vlhkosti).

Klíčová slova

Nepálená hlína, omítky, malty, fyzikální a mechanické vlastnosti, vlhkost, hydrofobizace, modifikace

Annotation

Clay plaster is again applying for long periods of pause not only in old buildings, but especially in new buildings. This effect is greatly caused by interest in environmental structures and natural materials from the experts and also from ordinary users.

A considerable disadvantage of clay plasters and other products from unburnt clay is poor exterior durability and in contact with water in a liquid state, which leads to leaching of the clay product part. Diploma thesis deals with the modification of clay plasters by hydrophobic agents based on silicates. The purpose of such intervention is to improve the durability of these plasters and extending their applications in the interior as well as exterior, while typical advantageous properties are maintained (especially humidity control).

Keywords

Unburnt clay, plaster, mortar, physical and mechanical properties, moisture, hydrophobization, modification

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Nepálená hlína	10
2.1	Definice hlíny a její složení	11
2.2	Hlína jako stavební materiál	14
2.3	Historie a využití nepálené hlíny	14
	Stavební sortiment	15
3	Hliněné omítky.....	17
3.1	Druhy omítek a jejich rozdělení	17
3.2	Definice a složení hliněných omítek.....	18
3.3	Přísady a příměsi.....	20
4	Hydrofobizace stavebních materiálů.....	23
5	Metody zkoušení hydrofobních hliněných malt a omítek.....	25
5.1	Příprava vzorků.....	25
5.2	Normové zkoušky zaměřené na problematiku vlhkosti.....	29
5.3	Normové zkoušky zaměřené na mechanické charakteristiky	35
6	Testování hliněných omítek	40
6.1	Materiály použité pro testování	40
6.1.1	Modifikační přípravky na bázi křemičitanů.....	42
6.2	Použité experimentální a laboratorní metody	43
6.3	Příprava hliněných vzorků	43
6.3.1	Stanovení konzistence rozlití	44
6.3.2	Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty	46
6.3.3	Příprava zkušebních trámečků	47
6.3.4	Aplikace termické analýzy pro hodnocení míchání zkušebních trámečků	47
6.4	Stanovení vlhkostního chování v definovaných prostředích	49
6.4.1	Monitorování v laboratorním prostředí (KP1).....	50

6.4.2	Monitorování v prostředí s vlhkostí 60 % a teplotou 20 °C (KP2).....	53
6.4.3	Monitorování v prostředí s vlhkostí 80 % a teplotou 15 °C (KP3).....	55
6.5	Stanovení vztlínivosti hliněných těles.....	57
6.6	Stanovení koeficientu kapilární absorpce	62
6.7	Hodnocení odolnosti vůči vodě	64
6.8	Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlých malt	65
6.9	Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku.....	66
6.10	Stanovení přídržnosti malt k podkladu	73
6.11	Stanovení otěruvzdornosti pomocí upravené Kučerovy vrtačky:.....	77
6.12	Vizuální zhodnocení	81
6.13	Shrnutí výsledků	82
7	Závěr	85
8	Poděkování.....	87
9	Seznam použitých zdrojů	88
10	Přílohy.....	91

Seznam použitého značení

A	Plocha
aj.	A jiné
apod.	A podobně
atd.	A tak dále
b	Šířka trámečku [mm]
cca	Přibližně (z latinského circa)
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
F_c	Zatěžující síla pevnosti v tlaku [N]
F_f	Zatěžující síla pevnosti v tahu za ohybu [N]
h	Výška trámečku [mm]
ISO	Mezinárodní norma
kol.	Kolektiv
l	Vzdálenost mezi podporami [mm]
m	Hmotnost vzorku [kg]
m_0	Hmotnost vysušeného vzorku [kg]
např.	Například
obr.	Obrázek
R_c	Pevnost v tlaku [N/mm ²]
R_f	Pevnost tahu za ohybu [N/mm ²]
tzv.	Tak zvaný

u	Hmotnostní vlhkost [%]
V	Objem [m^3]
viz.	Lze vidět (z latinského videlicet)
w	Vlhkost prostředí [%] Vlhkost vzorku [%]
ψ	Objemová vlhkost [-]
ρ_m	Objemová hmotnost čerstvé malty [kg/m^3]
ρ_0	Objemová hmotnost vysušeného vzorku [kg/m^3]
ρ_w	Objemová hmotnost zvlhčeného vzorku [kg/m^3]

1 Úvod

Hliněné omítky patří v dnešní době k nejvyužívanějším produktům z nepálené hlíny. Po odstranění nepálené hlíny jako staviva z technických norem došlo k útlumu a v jednu chvíli dokonce k úplnému zákazu používání jakýchkoliv stavebních produktů z nepálené hlíny ke stavbě budov. Ovšem s koncem 20. století dochází k jejich opětovnému využívání. Značný vliv na to má zásluha prosazování ekologických staveb a zvýšený zájem o přírodní stavební materiály, které blahodárně působí na vnitřní klima a psychiku člověka. Hliněné omítky a malty se používají z důvodů jejich jednoduchých oprav a především pro jejich výhodné vlastnosti jako je např. schopnost regulace vlhkosti, pohlcování nežádoucích pachů uvnitř místnosti, akumulace vnitřní teploty atd.

Vývoj a využití hliněných omítek se v poslední době posunul zase dál, což značí i zadání této diplomové práce, kde je řešena problematika negativních vlastností nepálené hlíny. Jde zejména o zvýšenou vlhkost, vlivem které jsou výrobky z nepálené hlíny, v našem případě hliněné omítky, degradovány.

Diplomová práce je rozložena do dvou hlavních částí, teoretické a praktické. V první teoretické části jsou popsány definice, rozdělení a historie nepálené hlíny a podrobnější informace o hliněných omítkách a maltách. V rámci teoretické části diplomové práce jsou také popsány technické postupy z normových podkladů, podle kterých byly prováděny zkoušky. V druhé praktické části diplomové práce jsou uvedeny a rozebrány podrobné postupy a testování zkoušených malt, prováděné na referenčních i křemičitany modifikovaných vzorcích. Ke zkoušení byly využity tři hliněné omítky firmy Picas, které byly vybrány z bakalářské práce.

2 Nepálená hlína

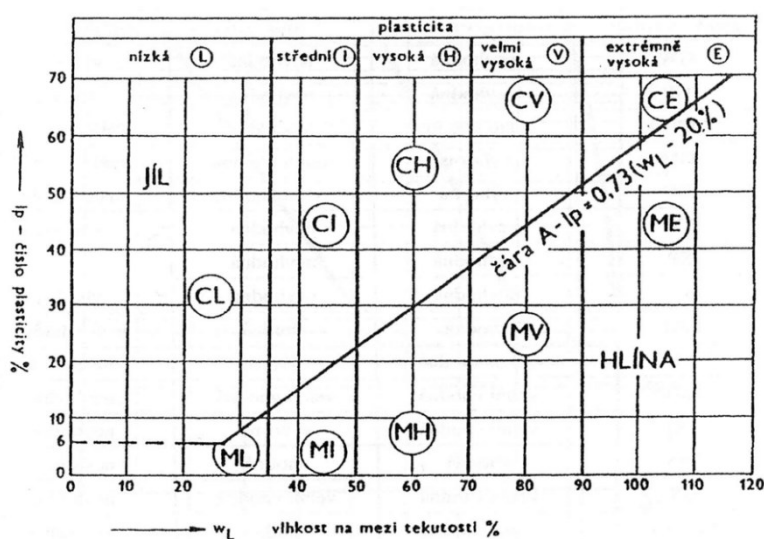
Hlína je částí zeminy, která tvoří podstatnou část povrchu zemské kůry naší planety Země. Snadná dostupnost a množství tohoto materiálu měly v minulosti za následek jeho širokého využití, kdy hlína sloužila od úpravy obydlí, výroby nádob, dekorativních ozdob až po hliněné destičky, do kterých se ostrými předměty vrývaly jedny z prvních zápisů.

Právě hlína společně se dřevem a kamenem patří k nestarším přírodním materiálům, ze kterých si naši předkové před dávnými časy stavěli první obydlí. Ještě dnes žije v příbytcích vyrobených z hlíny přibližně jedna třetina obyvatelstva. Jde zejména o obyvatele rozvojových zemí, kteří nemají na výrobu moderních staveb dostatek průmyslových stavebních materiálů jako je beton, pálená cihla nebo ocel [23].

2.1 Definice hlíny a její složení

Hlínu můžeme definovat jako přírodní surovinu, která může, ale také nemusí obsahovat organické příměsi (části kořenů, listů, zbytků rostlin či živočichů aj.). Z pohledu terminologie je hlína vnímána dvojím způsobem:

- z hlediska geologického jako jemnozrnná zemina definovaná pomocí Cassagrandeho diagramu plasticity (viz. Obr. č. 1) a označující se písmenem (M), která je dále klasifikována podle velikosti frakce normou ČSN EN ISO 14688-1 [17];
- jako jakákoli zemina běžně používaná na výrobu nepálených staviv, ale někdy také pro samotné výrobky z nepálené hlíny (hliněné malty/omítky, cihly, směsi, atd.) [31].



Obr. č. 1: Diagram plasticity pro jemnozrnné zeminy frakce < 0,5 mm [31]

Hlína vzniká zvětráváním, transportem a sedimentací různých druhů hornin. Dlouhodobým působením těchto cyklicky se opakujících procesů a důsledkem eroze se horniny rozpadají na menší a menší částice. Charakteristické vlastnosti hlíny závisejí především na daném mineralogickém složení a tudíž i na přítomných horninách zvětrávajících v místě těžby. Důležitým parametrem je určení vzniku zemin, podle kterého lze částečně odvodit jejich mechanické vlastnosti [29].

Hlína použitelná pro stavební účely se dělí dle vzniku zemin [23, 31]:

- Naváté (aeolitické) spraše – jde o sprašovou hlínu, která vznikla přemístěním primárních zemin. Z hlediska stavebního materiálu patří mezi ty nejkvalitnější. Často obsahuje jemný písek, který dává směsi nahnědlou až nažloutlou barvu, což je s výhodou používáno i při výrobě cihlářských výrobků. Tento druh hlín se nachází převážně na jižní Moravě a v jejím okolí.
- Naplavené (aluviální) zeminy – jde o jemné souvkové zeminy, které vznikají, jak již název napovídá, usazováním sedimentu v korytech řek. Vyskytují se zpravidla bez většího podílu hrubé frakce.
- Reziduální (eluviální) zeminy – jde o původní (primární) zeminu, uloženou od doby vzniku stále na stejném místě, která se zvětšující hloubkou obsahuje více hrubší frakce. Tato zemina je také použitelná jako stavební surovina.

Z geologického hlediska hlínu tvoří tři základní složky, konkrétně jsou to jíly, prachy a písky, které jsou definovány podle velikosti frakce (viz. Tabulka č. 1). Hlína však může obsahovat i podíl hrubší frakce jakou jsou šterky a balvany nebo organické části. Podle obsahu majoritní složky mají hlíny přídavek písčité, prachové nebo jílovité. V pedologii je dále označován podíl jakékoli složky jako slabý, pokud je tvořen méně než 15%, naopak při větším než 30% zastoupení složky je podíl nazýván „silným“. Pokud má složka menší než 5% podíl pak se do označení hlín ani neuvádí.




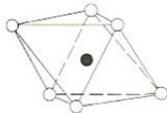
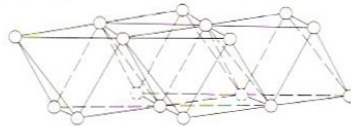

Tabulka č. 1: Zatřídění zemin podle velikosti frakce [17]

Složka	Označení	Velikost částic	Funkce
Jíl	Cl	(0 – 0,002) mm	Pojivo
Prach	Si	(0,002 – 0,063) mm	Plnivo
Písek	Sa	(0,063 – 2,0) mm	Plnivo
Štěrka	Gr	(2,0 – 63,0) mm	Plnivo

Mezi nejjemnozrnnější částice zemin (hlín) patří jíly, které mají velikost frakce zrn v rozmezí tisícín až desítitisícín mm. Tyto částice vytváří šupinaté, jehličkovité a trubičkovité tvary, které jsou pozorovatelné pouze pod mikroskopem. Převážná většina jílu vzniká při zvětrávání hornin obohacených živcem, případně i jinými minerály. Jíly ve směsi plní velmi důležitou funkci pojiva, které spojuje jednotlivé složky (plniva) hliněné směsi. Ovšem při větším množství působí v hlině negativně, protože vykazuje velké smrštění při vysychání. Proto je důležité, aby byl do hliněné směsi přidán správný podíl pojiva (jílu) a ostřiva (písku).

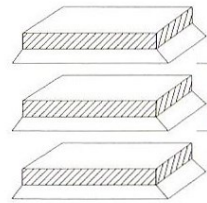
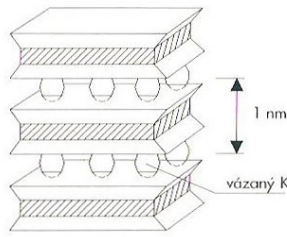
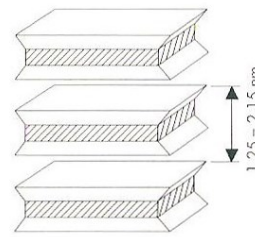
Tím se zamezí vzniku trhlin na povrchu vysušené směsi. Zpravidla se volí poměr jílu k písku 1:3.

Jílové minerály, odborně nazývané jako krystalické vodnaté hlinitokřemičitany, které se projevují malou pevností a slabou schopností krystalizace. Z geologického hlediska patří jílové minerály do skupiny druhotných minerálů, které vznikají chemickým zvětráváním primárních minerálů. Obecně se řadí do skupiny fylosilikátů. Stavební konstrukce jílových minerálů tvoří vrstevnatá krystalová mřížka, která se skládá ze stále opakujících se vrstev křemíkových tetraedrů Si^{4+} a hliníkových oktaedrů Al^{3+} (viz. Obr. č. 2).

	vrstva	schéma vrstvy
 <p>● Si^{4+} ○ O^{2-}</p>	 <p>tetraedry</p>	
 <p>● Al^{3+} ○ OH^-</p>	 <p>oktaedry</p>	

Obr. č. 2: Vazby tetraedrických a oktaedrických sítí [31]

Podle těchto pravidelně se opakujících vrstev jsou jílové minerály rozdělené na jednovrstvé, dvouvrstvé, trojvrstvé a vícevrstvé, které se mohou dále dělit podle uspořádání krystalové mřížky na tři hlavní skupiny kaolinitu, illitu a montmorillonitu (viz. Obr. č. 3).

kaolinit	illit	montmorillonit
 <p>0,737 nm</p> <p>elementární (bazální) souvrství</p>	 <p>1 nm</p> <p>vázaný K</p>	 <p>1,25 - 2,15 nm</p>

Obr. č. 3: Struktura krystalické mřížky tří hlavních jílových minerálů [31]

Charakteristické vlastnosti hliněných směsí jsou výrazně ovlivňovány zastoupeným typem jílového minerálu. Mezi nečastěji vyskytující se jílové materiály patří [21, 23, 31]:

- Kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) je dvouvrstvý minerál vytvářející bílé šupiny. Kaolinitické jíly vznikají zvětráváním alkalických živců v kyselém prostředí. Ve srovnání s dalšími jílovými minerály má pevnou krystalovou mřížku a váže menší množství molekul vody. Tento efekt způsobuje menší bobtnání, které se projevuje minimálním vznikem trhlin ve výrobcích.
- Illit ($\text{nK}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$), často označovaný jako hydroslída, je minerál skládající se ze tří vrstev, které umožňují vázat větší množství vody a jsou více plastické než kaolinitické jíly. Pro své pozitivní vlastnosti (plasticitu, hygroskopicitu) bývá často obsažen v cihlářských hlínách.
- Montmorillonit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$) patří, stejně jako illit, mezi trojvrstvé minerály. Montmorillonitové minerály jsou na styku jednotlivých vrstev velmi slabé a pružné. Důsledkem toho se vrstvy rozevírají více než u ostatních jílových minerálů a umožní tak větší příjem molekul vody. Do této skupiny patří bentonity, známé a využívané jako přírodní izolující vrstvy, např. historických objektů.

Jednotlivé druhy jílových minerálů z výše uvedených důvodů absorbují rozdílné množství vody, které pak ovlivňuje další důležité vlastnosti zemin, jako je např. pevnost, smrštění, odolnost vůči vodě a jiné. Z tohoto důvodu tolik záleží na tom, jaký jílový minerál se v zemině nachází.

2.2 Hlína jako stavební materiál

Hlína je čistě přírodní materiál, používaný od samotného začátku k úpravě a výstavbě jednotlivých prostorů, ale i celých objektů pro bydlení. Mezi pozitiva tohoto materiálu patří především možnost snadné recyklace. To znamená, pokud výrobek z hlíny není degradován některými umělými látkami, lze ho vrátit bez jakýchkoliv složitějších úprav zpátky do přírody, případně znovu použít k obdobným účelům [23].

2.3 Historie a využití nepálené hlíny

Hliněné úpravy, například omazávky proplétaného proutí, zakrytí spár kamenných zdí, či samotné výstavby hliněných zdí, jsou známy již od pravěku. Problémem hliněných staveb je, že ve styku s vodou dochází velmi rychle k jejich degradaci. Díky tomu

je z archeologických průzkumů velmi obtížné zjistit, zda se jedná o bývalou hliněnou konstrukci nebo jde o nahromaděnou vrstvu hlíny. Historii hliněných staveb lze z tohoto důvodu přesně určit jen na základě doposud dochovaných konstrukcí, či písemně doložených zpráv.

Nejstarší stavby z hliněného materiálu byly nalezeny na palestinském území v Jerichu spadající do doby 8000 let př. n. l. Toto hliněné stavivo bylo využíváno téměř ve všech historických civilizacích, například v Mezopotámii pro výstavbu paláců, ve starém Egyptě vznikaly první obloukové klenby samozřejmě také z hlíny, další techniky dusané hlíny pocházejí z období Inků. Ve starém Řecku jsou zmínky o hliněném stavitelství doloženy v Deseti knihách o architektuře od Marcuse Vitruviuse Polonia [23].

Na našem území a na západě Evropy je počátek užívání nepálených cihel datován do 13. až 14. století. Větší rozšíření stavebních konstrukcí z hlíny přichází až přelomem 16. a 17. století, kdy je rozmach výstavby hliněných konstrukcí zapříčiněn častými požáry dřevěných staveb. Vyztužením a obmazáváním dřevěných konstrukcí, či jejich úplným nahrazením je stavba dostatečně chráněna před požárem. Snadná dostupnost a protipožární vlastnosti hlíny měly za následek stále větší využívání toho materiálu. Až do roku 1867 patřila nepálená hlína, společně se dřevem, mezi nejpoužívanější a ekonomicky nejdostupnější stavební materiály. Zlom nastal v roce 1867, kdy byla F. Hoffmanem vynalezena kruhová pec. Tím se výroba pálených cihel výrazně zefektivnila, což mělo za následek i snížení ceny pálených zdících prvků, které si tak mohli dovolit i méně movití lidé. Posledním pomyslným „hřebíčkem do rakve“ bylo odstranění hliněného materiálu z technických norem. Ke znovuoobjevení a návratu nepálené hlíny dochází až nyní počátkem 21. století. V dnešní době se tento materiál používá hlavně ze zdravotních a ekologických důvodů. Naproti tomu v minulosti byla důvodem pro aplikaci nepálené hlíny snadná dostupnost, a s tím související levná výstavba obydlí [21, 31].

Stavební sortiment

Z nepálené hlíny lze vytvořit téměř každou část stavby, což také značí množství stavebních výrobků z nepálené hlíny. Mezi nejvyužívanější produkty patřily v minulosti zejména [21, 31]:

- Omítky a malty (viz. Obr. č. 4) – jsou směsí tří hlavních složek, kterými je písek, spraš a jíla. Hliněná směs je dále upravována přidáním příměsí a přísad (sláma, drobné

části rostlin, celulóza, zvířecí srst, volí krev, atd.). Hliněné omítky byly využívány jak v minulosti, tak i v dnešní moderní době.



Obr. č. 4: Nanášení finální štukové hliněné omítky

- Cihly z nepálené hlíny – jsou vyráběny už od pradávna, kdy se do dřevěných forem plnila směs hlíny vyztužená a vylehčená slámou, zvířecími štětinami a chlupy - odtud pochází také název vepřovice (viz. Obr. č. 5). Dnešní cihly z nepálené hlíny mají výrazně světlou našedlou barvu (viz. Obr. č. 6) v porovnání se starými, po domácku vyrobenými cihlami, které mají světlou nebo tmavší hnědou barvu.



*Obr. č. 5: Nepálené cihly (vepřovice)
[Autor J.Hapl]*



*Obr. č. 6: Moderní nepálené cihly
šedé barvy [Autor J.Hapl]*

- Zdivo z válků – patří mezi starší způsoby výstavby hliněných zdí. Tyto války nebo tak zvané kochvaly, či krupejce jsou oválné kusy hlíny, které se po odležení kladou šikmo na sebe po vrstvách a vytváří tak hliněnou stěnu.
- Dusaná hlína – je v různých krajích označována také jako pěchovanica, nabíjenice, nabíjená hlína apod. Technologie tohoto produktu je založena na pěchování lehce zvlhlé hliněné směsi do vytvořeného bednění. Dusaná hlína může být použita i do staticky nosných zdí.
- Omazávky a mazanice – jsou hliněné směsi řídké konzistence, které se využívají k utěsnění proutěných výpletů, či spár u roubených stavem. Omazáním dřevěných částí se zvyšuje jejich ochrana proti požáru.

3 Hliněné omítky

Hliněné omítky jsou nepochybně nejstarší malty, které byly k omítání použity. Bližší informace o jejich složení a zařazení jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.1 Druhy omítek a jejich rozdělení

Rozdělení omítek a malt se provádí podle různých parametrů. Vlastnosti omítek jsou připravené tak, aby optimálně plnily požadavky na jejich použití. Z tohoto důvodu jsou malty a omítky rozděleny na [20]:

- exteriérové omítky – jsou nanášeny na vnější části konstrukce stěn a dobře odolávají venkovním povětrnostním podmínkám i vlhkosti;
- interiérové omítky – se nacházejí ve vnitřních prostorech budov, aby byly ochráněny před nebezpečnými klimatickými vlivy, které by způsobily degradaci těchto omítek.

Omítky jsou tvořeny dvěma hlavními složkami pojivem a plnivem. Obě složky jsou smíchány a společně s vodou tvoří čerstvou maltovou směs.

Podle pojiva se omítky rozdělují na tři hlavní kategorie [28]:

- Vzdušné pojiva – u nichž proces tuhnutí a tvrdnutí probíhá na vzduchu. Po zatvrdnutí jsou tvarově stále pouze ve vzdušném prostředí, ve vodě nebo při kontaktu s ní ztrácí pojiva pevnost. Mezi tyto materiály patří sádra, vzdušné vápno, jíl.

- Hydraulické pojiva – jsou schopné tvrdnout na vzduchu i pod vodou, na vzduchu musí proběhnout pouze počáteční zatuhnutí. Mezi hydraulické materiály se řadí např. hydraulické vápno, cement.
- Zvláštní (speciální) pojiva – jak již název napovídá, vytváří speciální vlastnosti finálního produktu jako např. žáruvzdorné pojiva, pojiva s radioaktivní ochranou, pojiva odolávající chemikáliím, aj.

Podle frakce písku se hliněné omítky rozdělují na jemné a hrubé [20, 21]:

- Jemná hliněná omítka – se používá jako finální vrstva povrchu, u níž se frakce písku pohybuje cca do 1 mm až 1,5 mm a nanáší se v tenkých vrstvách (podle typu omítky v tloušťce vrstvy 1 mm až 5 mm);
- Hrubá hliněná omítka – občas označovaná jako jádrová omítka, se nanáší v tlustších vrstvách (5 mm až 30 mm) a slouží jako podkladní vrstva pro finální vrstvu jemné omítky s velikostí frakce písku do 4 mm. Větší zrna písku způsobují vznik většího počtu drobných trhlinek, které nemají negativní vliv na přídržnost k podkladu, ale právě naopak zlepšují přilnavost pro finální jemnou omítku.

Hliněné omítky dále dělíme na jednovrstvé a vícevrstvé, kde záleží na požadované funkci omítky. Pro tepelně izolační funkci se volí vícevrstvé systémy omítek, naopak jednovrstvé plní spíše estetickou funkci a na zlepšení parametrů typických pro hlínu nemají z důvodu tenké vrstvy takový vliv.

3.2 Definice a složení hliněných omítek

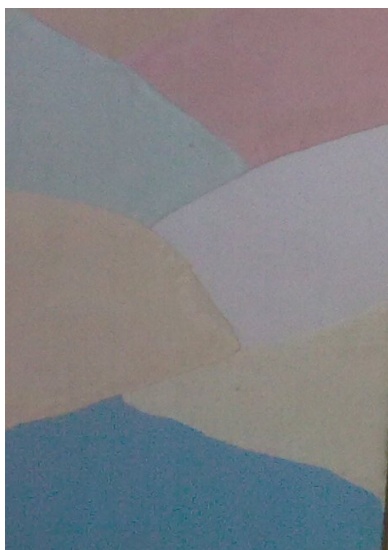
Klasické hliněné omítky bez speciálních úprav se řadí mezi interiérové omítky (viz. Obr. č.7). Jak již bylo uvedeno, hliněné omítky se skládají ze tří základních složek, kterými jsou písek, prach a jíl. Podle obecného pravidla se hliněné omítky vyrábí smícháním 75 % písku, který lze případně nahradit zeolitem a 25 % hlíny (jíl a prach) [22]. U hliněných omítek plní pojivou funkci směsí složka jílu, které i v malém množství výrazně ovlivňují výsledné vlastnosti omítky, záleží především na zvoleném druhu jílu (viz. kapitola 2.1). Jíly spojují veškeré obsažené složky hliněné omítky, avšak největší část směsi tvoří plniva, kterými jsou zpravidla písky o velikosti frakce (0 – 4) mm.



Obr. č. 7: Běžná hnědá hliněná omítka nanesená ve vnitřních prostorách budovy [Autor J.Hapl]

Dříve byly používány klasické hliněné omítky, které vytvářely pro hlinu typickou hnědou barvu (viz. Obr. č. 7). V takto omítnutých místnostech však mohlo dojít k výraznému ztmavení vnitřních prostor, což nebylo příliš žádoucí. Proto se začaly hliněné omítky vyvíjet a míchat s barevnými jíly a různými druhy pigmentů. Většina těchto pigmentů, ale především jíly jsou čistě přírodní a tak nedochází k jejich znečištění uměle vyrobenými chemickými látkami (lze snadno recyklovat).

Hliněné omítky mohou vytvářet přírodní, rustikální vzhled, který se využívá při rekonstrukcích starších, či historických objektů (viz. Obr. č. 8). V současné době jsou vyráběné i barevné hliněné omítky, které lze použít i u moderních novostaveb (viz. Obr. č. 9).



Obr. č. 8: Barevná hliněná omítka [Autor J.Hapl]



Obr. č. 9: Hliněná omítka přírodní hnědé barvy [Autor J.Hapl]

Hliněné omítky působí pozitivně zejména na vnitřní mikroklima v takto omítnutých místnostech, které je vytvořeno díky dobré regulaci vlhkosti právě hliněnou omítkou. Mezi další výhodné vlastnosti patří dobré tepelně izolační vlastnosti, jejichž hodnoty jsou ovlivněny složením a zpracováním hliněné omítky [26]. Absorpce vlhkosti je sice výhodnou vlastností, ale pouze do určité míry. Vyšší podíl vody u hliněných materiálů je nepříznivý, jelikož jejím působením dochází k rozplavení částic, a tím hliněné omítky degradují. Degradace je ovlivňována množstvím obsažené vody ve zdivu (viz. Tabulka č. 2), jenž je hodnocena podle hmotnostní vlhkosti omítek [30].

Tabulka č. 2: Vlhkost zdiva

Stupeň vlhkosti	Hmotnostní vlhkost zdiva w [%]
velmi nízká	$w < 3$
Nízká	$3 \leq w < 5$
Zvýšená	$5 \leq w < 7,5$
Vysoká	$7,5 \leq w \leq 10$
velmi vysoká	$w > 10$

Přípravou a nanášením se hliněné omítky drobně odlišují od běžných omítek, které jsou blíže popsány v normách [15, 16]. Hliněné malty a omítky nejlépe drží na savém a zdrsněném podkladu (nejlépe hliněné cihly, tvarovky, pálené cihly, aj). Obecně je lze aplikovat téměř na jakýkoliv povrch, ale v případě hladkých, málo savých, či drolicích se povrchů musí být nejprve vytvořen adhezní můstek. Tato přínavostní vrstva se vytvoří přichycením dřevěných roštů nebo rákosových rohoží za pomoci drátu, kovových spon, či hřebíků k hladkému, nesavému podkladu [35].

3.3 Přísady a příměsi

Přísady a příměsi se přidávají do čerstvých směsí omítek pro vylepšení jejich výsledných vlastností nebo ke zlepšení jejich zpracovatelnosti. Přísady i příměsi se podle původu rozdělují na přírodní (látky nezávadné a 100 % recyklovatelné) a umělé (průmyslové látky uměle vyrobené). Látky upravující vlastnosti se mohou dále dělit na organické a anorganické. Přidáním organických složek do směsi je nutné počítat s tím, že při vlhkosti, pohybující se nad 16 %, hrozí riziko vzniku plísní (viz. Obr. č. 10). Pokud je vlhkost ještě vyšší

než 20 % může dojít až k růstu hub. Dále mohou být přísady a příměsi rozděleny podle funkce (viz. Tabulka č. 3) [20].



Obr. č. 10: Vzniklá plíseň na povrchu hliněného vzorku [Autor J.Hapl]

Tabulka č. 3 Přísady a příměsi ovlivňující vlastnosti hliněné omítky [20]

Druhy přísad a příměsí	Působení na omítku	Příklady přísad a příměsí
adheziva	zlepšují vaznost (lepivost) malty	akrylátová pryskyřice, epoxidy
hydrofobizátory	odolávají vodě	kasein, mouka
pigment, barvivo	obarvují hmotu	anorganické a organické pigmenty, např. hlínka
plastifikátory	zlepšují zpracovatelnost	celulóza, konopí, piliny, byliny
urychlovače	urychlují tuhnutí a tvrdnutí	hydroxid barnatý, chlorid vápenatý, tvaroh
zpevňovače	zvyšují pevnost	polyuretany, silikony

Mezi nejvíce používané příměsi a přísady patří [22, 31]:

Řezanka – jde o běžně dostupnou slámu, jejíž stébla jsou nařezaná, nasekaná nebo jiným způsobem zkrácená na konečnou délku přibližně 5 cm. V maltové směsi plní funkci rozptýlené výztuže, čímž snižuje vznik trhlin a zlepšuje tak celkovou soudržnost. Přidáním slámy se výsledná směs značně vylehčuje (nízká objemová hmotnost) a zvyšuje tepelnou izolaci vrstvy omítky. Zároveň je nutné si dát pozor, aby na povrchu nevznikaly plísně, proto je důležité po nanesení hliněné omítky s obsahem slámy často větrat.

Plevy a osiny – jsou zbytky slupek a štětín z obilí, které mají pozitivní vliv na vlastnosti hliněných omítek, neboť zvyšují jejich pružnost.

Pazdeří – jde o dřevitou dužinu, která se nachází ve stoncích keřů a rostlin např. konopí, lnu a různých druhů bylin. Stejně tak jako pazdeří lze použít i dřevěné piliny.

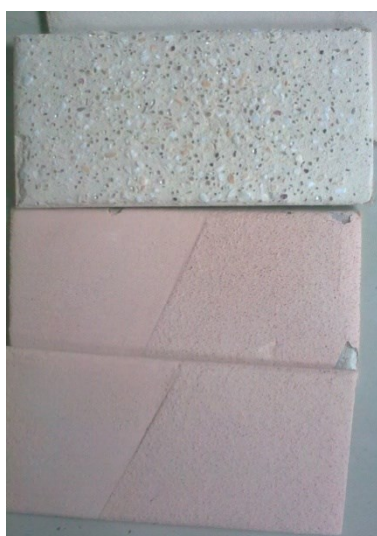
Zvířecí exkrementy – nejvíce používaný je na našem území zejména kravský nebo koňský hnůj, který hliněnou směs hydrofobizuje a redukuje velikost, či vznik trhlin. Přidáním malého množství koňské moči se zvyšovala až desetinásobně výsledná pevnost hliněné směsi. Koňskou močevinu lze se stejným účinkem nahradit močovinou ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$) nebo octanem sodným ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$).

Krev – nejvíce využívaná byla především čerstvá volská krev, která byla aplikována přímo do hliněné směsi formou přísady nebo se nanášela již na zaschlý povrch ve formě nátěru. Přidáním zvířecí krve odolávala hliněná směs lépe povětrnostním vlivům prostředí a zlepšovala se její vaznost.

Zvířecí srst – používaly se štětiny a chlupy, které plnily v hliněných maltách funkci rozptýlené výztuže stejně jako např. tráva nebo sláma.

Do hliněných malt se přidávaly také umělé příměsi například **vápno**, **cement** nebo **sádra**, které sice zvýšily pevnosti a odolnost vůči nepříznivým povětrnostním vlivům, ale jejich přidáním do hliněné směsi byla úplná recyklace těchto produktů vyloučena. Mezi další umělé příměsi patří **granulát z pěnového polystyrenu**, který směs vylehčuje a zvyšuje tepelně izolační vlastnosti, ale na druhou stranu snižuje její pevnosti.

Příměsi, jako jsou barevné kamínky, či sklo (viz. Obr. č. 11), nebo rozdrčená směs lastur a ulit (viz. Obr. č. 12), lze použít zejména k estetickým úpravám omítek.



Obr. č. 11: Úprava povrchu barevnými skly a kamínky [Autor J.Hapl]



Obr. č. 12: Úprava povrchu směsí mořských lastur [Autor J.Hapl]

4 Hydrofobizace stavebních materiálů

Vlhkost působí negativně na životnost stavebních materiálů a ovlivňuje další důležité vlastnosti, zejména pak pevnosti a moduly pružnosti, na kterých závisí statika celé konstrukce [30]. Hydrofobizace je ochranný proces, jehož aplikací se změní fyzikálně mechanické vlastnosti ošetřeného materiálu, kdy na povrchu stěn pórů dojde ke zvýšení povrchového napětí. Povrchové napětí σ je vyjádřeno smáčecím úhlem kapaliny Θ , jehož hodnota je přímo úměrná s nasákavostí a kapilární vztlakovostí, což také dokazuje vztah (1) pro kapilární sílu [19]:

$$F_k = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \gamma \cdot \cos \Theta \quad [\text{N}] \quad (1)$$

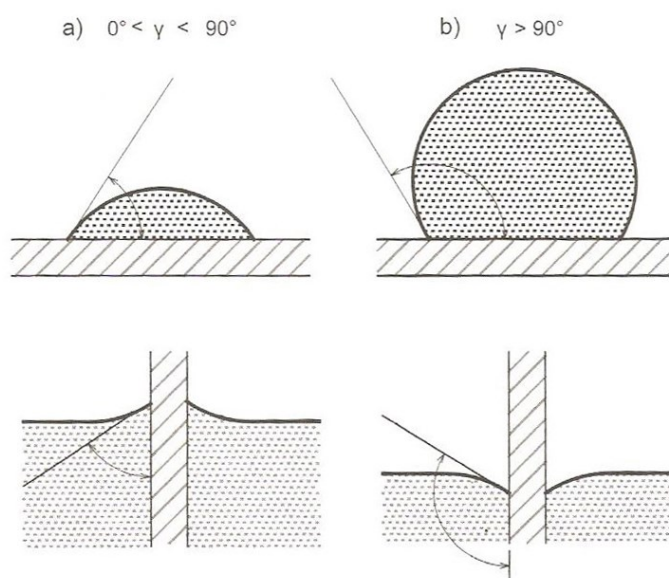
, kde π ...matematická konstanta (Ludolfovo číslo) $\pi = 3,14$ [-];

r ...poloměr póru [m];

γ ...povrchové napětí kapaliny [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$];

Θ ... smáčecí úhel [$^\circ$].

Z toho vyplývá, že čím má materiál větší úhel smáčení, tím lépe odolává účinkům vody (viz. Obr. č. 13). Materiály s většími póry jsou více smáčivé než materiály neporézní, neboť jejich struktura je více otevřená a vlhkost (voda) do nich pak snadněji proniká.



Obr. č. 13: Úhel smáčení na povrchu materiálu a) dochází ke smáčení
b) hydrofobní povrch - nesmáčí [19]

Problém u některých hydrofobních látek je ten, že sice odolávají působení vody, ale současně také uzavřou strukturu, čímž se stávají ošetřené materiály neparopropustné. Zlepšení vlastností stavebních materiálů, jakou je i hydrofobizace, se už dlouhá léta zabývá společnost WTA, podle které by měly hydrofobní prostředky obsahovat nejméně 4 % aktivní látky. Výsledná nasákavost ošetřeného materiálu by měla být alespoň o 70 % nižší než u neošetřeného materiálu, zároveň by se však neměla propustnost par lišit o více než 10 %. Hydrofobní látky by měly být odolné alkalickému prostředí, měly by být stálé (např. neměnit barvu ošetřeného materiálu) a především by neměly obsahovat látky poškozující ošetřovaný materiál nebo podporovat vnik jejich degradace [33].

Hydrofobizace neboli odolnost staveb vůči účinkům vody byla prováděna již v 5. století př. n. l., kdy řečtí stavitelé natíraly povrch mramorových soch olejo - voskovými nátěry tzv. gamosis. Tyto nátěry vytvořily matně lesklý povlak, což bylo pozitivní jak z hlediska estetického, tak ochranného. K ochraně porézních materiálů (z počátku zejména kamenných soch) se využívaly i jiné přírodní materiály (např. vosky, oleje, pryskyřice, apod.) [27]. V současné době patří k nejpoužívanějším hydrofobizátorům prostředky na bázi organokřemičitanů, tedy rozpuštěných silikonů v různých rozpouštědlech nebo jejich emulzí. Hydrofobního účinku nabývají, jakmile dojde k odpaření vody nebo rozpouštědla, podle směrnice WTA nejdříve po 5 hodinách. Do této doby je nutné, aby povrch čerstvě ošetřeného materiálu nepřišel do kontaktu s vodou (např. déšť). Prostředky na bázi křemičitanů jsou podrobněji popsány (viz. kapitola 6.1.1). Další látky ochraňující porézní materiály před vlhkostí jsou založeny na nízkomolekulární bázi a jsou rozpustné ve vodě. Tyto tzv. oligomery mají nižší životnost než hydrofobizátory rozpouštěné v látkách organických. Jiné prostředky, například na bázi silanů, se používají jak pro hydrofobizaci, tak i konsolidaci materiálu [25]. Obecně je kromě povrchové aplikace hydrofobizátoru možné použít tyto látky i při výrobě nových materiálů a to ve formě přísad.

Z praktických zkušeností vyplývá, že hydrofobizace může vést také k problémům, například při neodborném nanášení ochranného přípravku. V tomto případě může na povrchu vzniknout nežádoucí lesklý film, který se může objevit při nanesení na málo porézní materiál nebo při aplikaci silnější vrstvy hydrofobizátoru. Odstranění, zejména pokud se jedná o ochranné prostředky na bázi organokřemičitanů, je velmi obtížné, neboť po zaschnutí gelu dojde k jejich propojení s podkladním materiálem a nežádoucí lesklou vrstvou lze odstranit pouze mechanicky, čímž dojde k porušení i samotného podkladu [33].

5 Metody zkoušení hydrofobních hliněných malt a omítek

Jak již bylo zmíněno, nepálená hlína je materiál, který se v současné době nevyskytuje v žádných technických normách. Proto se u zkoušení tohoto materiálu vycházelo z technických norem platných pro malty, omítky, keramické výrobky a dalších normových postupů, pomocí kterých se vytvářely vzorky a získávaly mechanické i fyzikální vlastnosti. Vybrané normové postupy, použitelné i pro výrobky z nepálené hlíny, jsou uvedeny v této kapitole.

5.1 Příprava vzorků

Ke zkoušení materiálů je potřeba si připravit a vyrobit zkušební vzorky, na kterých se budou zkoušky provádět. V našem případě jde o přípravu čerstvých malt a následnou výrobu zkušebních trámečků podle níže uvedených norem.

Příprava čerstvých malt a jejich zkoušení dle ČSN EN 1015 – 2 [4]:

Ke zkoušení čerstvé malty je zapotřebí mít minimálně 1,5 krát větší množství materiálu nebo musí mít objem alespoň 1,5 l.

Před samotným zkoušením je nutné, aby se čerstvé malty dostatečně promíchaly a nedocházelo tak k jejich falešnému zatuhnutí. Pro zlepšení kvality se malty homogenizují pomocí míchačky, která odpovídá vlastnostem dle ČSN EN 196 -1. Připravované malty se mísí s takovým množstvím vody, aby bylo při zkoušce konzistence dosaženo požadovaných hodnot rozlití. Pokud množství vody není výrobcem deklarováno, musí se čerstvá malta připravit podle uvedených hodnot (viz. Tabulka č. 4).

Tabulka č. 4: Hodnota rozlití vztažená k objemové hmotnosti čerstvé malty [4]

Objemová hmotnost čerstvé malty [kg/m ³]	Velikost rozlití [mm]
≤ 300	120 ± 10
> 300 ≤ 600	140 ± 10
> 600 ≤ 1200	160 ± 10
> 1200	175 ± 10

Jakmile se do míchačky vloží všechny složky směsi, začne se měřit čas míchání. Proces zpracování se provede podle předepsaného postupu výrobce zkoušené malty. V případě,

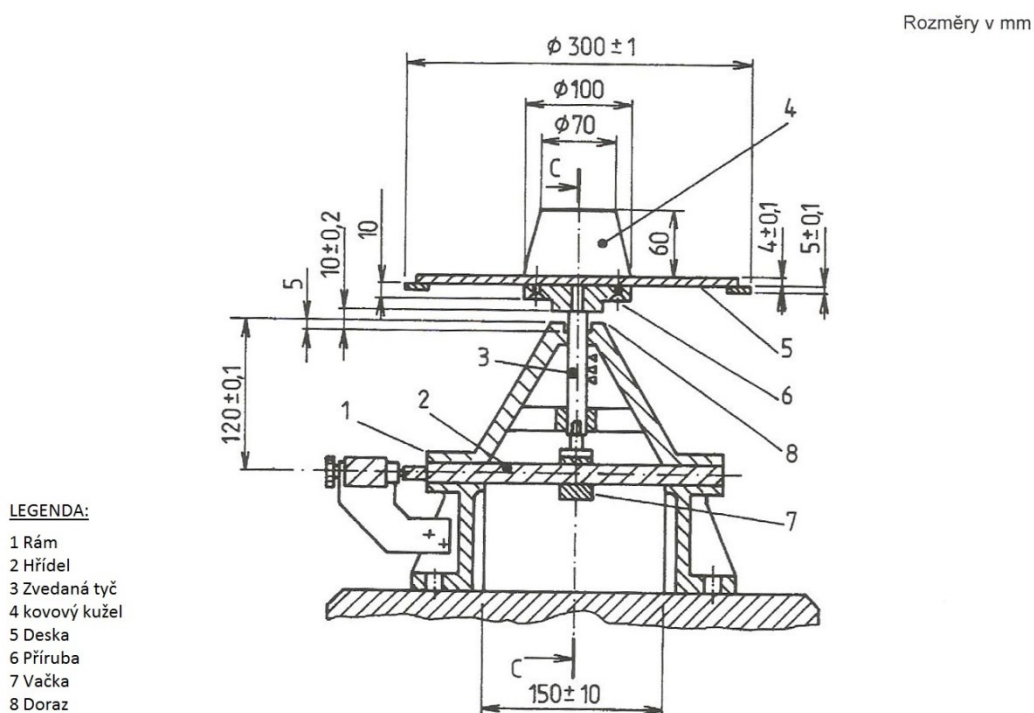
že pokyny ke zpracování malt nejsou výrobcem deklarovány, postupuje se podle níže uvedených pokynů.

Při nízké rychlosti míchání se do míchačky nalije požadované množství vody a v následujících 30 s se přidá suchá maltová směs. Celá směs se míchá dalších 60 vteřin, během kterých se maltová směs homogenizuje.

Určení konzistence čerstvé malty rozlitím podle ČSN EN 1015 – 3 [5]:

Před zkoušením se podkladní deska společně s kovovým kuzelem setře navlhčenou houbou. V případě nečinnosti střešacího stolku (viz. Obr. č. 14) v posledních 24 hodinách, je nutné pro ověření správné funkce přístroje provést 10 zkušebních zdvihů před samotnou zkouškou.

Principem zkoušky je naplnění kovového kužele maltou ve dvou vrstvách, přičemž každá z nich se zhutní 10 údery dusadla. Přechývajícím materiálem se v poslední vrstvě odstraní a zároveň s horním okrajem kužele. Po naplnění se kužel zdvihne kolmo vzhůru a střešací stolek provede 15 stejných rázů, pomocí kterých se malta rozlije. Následně se změří průměr rozlité malty ve dvou na sobě kolmých směrech a vypočítá se jejich aritmetický průměr v mm.



Obr. č. 14: Zařízení střešacího stolku [5]

Pokud se jednotlivé naměřené hodnoty neliší o více než 10 % od celkového průměru, považuje se tato hodnota za výslednou, v opačném případě se musí zkouška opakovat.

Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty (podle ČSN EN 1015 – 6) [6]:

Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty je dáno podílem její hmotnosti k objemu nádoby, v níž je zkoušená malta umístěna a patřičně zhutněna. Před provedením zkoušky se musí určit způsob hutnění malty, který se volí podle velikosti výsledných hodnot jejich konzistence rozlitím na střešacím stolku (viz. Tabulka č. 5).

Tabulka č. 5: Závislost hutnění malt na hodnotě rozlití [6]

Konzistence malty	Rozlití [mm]	Metoda hutnění
Hutná	< 140	Vibrační metoda
Plastická	140 až 200	Rázová metoda
Řídká	> 200	Plnicí metoda

Jednotlivé metody hutnění lze popsat následujícím způsobem:

1. vibrační metoda – hutnění malty za pomoci vibračního stolku po dobu sedání malty;
2. rázová metoda – využívá setrvačné a gravitační síly, kdy k jejímu hutnění dochází důsledkem sklepávání (z výšky cca 30 mm) naplněné nádoby o pevnou zem; rázová metoda využívá plnění ve dvou vrstvách a každá se hutní 10 rázy;
3. plnicí metoda – malta se plní po vnitřních stěnách nádoby a hutní se sama vlastní tíhou.

K určení objemové hmotnosti čerstvé malty je zapotřebí zvážit hmotnost prázdné nádoby (m_1) a naplněné nádoby zkoušenou maltou (m_2). Objem nádoby (V_v) by měl mít cca 1l (viz. Obr. č. 15).



Obr. č. 15: Měření objemové hmotnosti čerstvé malty [autor J.Hapl]

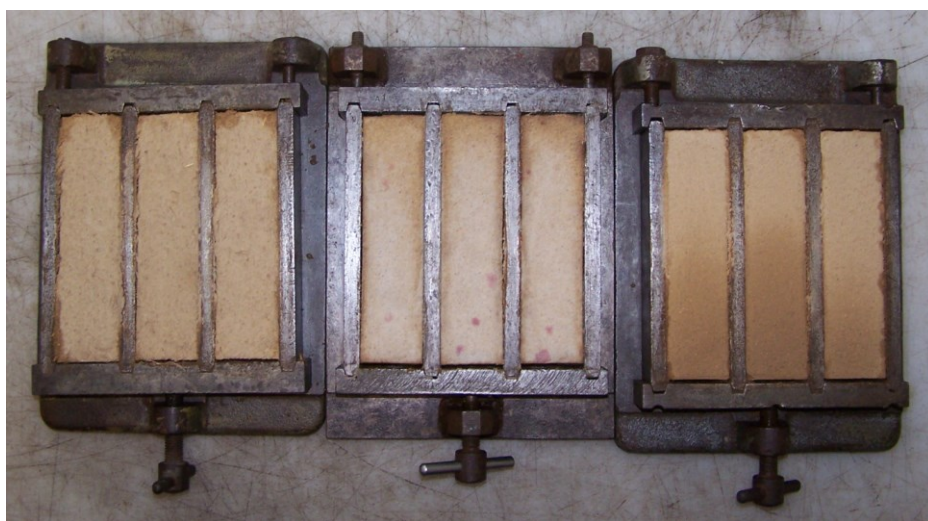
Objemová hmotnost čerstvé malty (ρ_m) se vypočítá ze vztahu (2) [6]:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

Jednotlivé objemové hmotnosti záměsi se zprůměrují a výsledná hodnota ρ_m se zaokrouhlí na desítky kg/m^3 .

Příprava zkušebních vzorků podle ČSN EN 1015 – 11 [8]:

K provádění jednotlivých zkoušek zatvrdlých malt je nutné si připravit zkušební tělesa. Pro zkoušení se z pravidla používá minimálně tři normových trámečků s velikostí rozměrů (40 x 40 x 160 mm). K jejich vytvoření zkušebních těles se používá kovová forma (viz. Obr. č. 16), která se skládá ze tří stejných částí.



Obr. č. 16: Výroba zkušebních trámečků pomocí normových forem [autor J.Hapl]

Forma se před plněním vymaže minerálním olejem tak, aby šel povrch ztvrdlého trámečku lépe oddělit od částí kovové formy. Malta se plní a hutní podle velikosti rozlití (viz. Tabulka č. 5). Poté se zkušební trámečky u místí do vlhkostní komory, kde se ponechají minimálně na 28 dní vyzrát. Po této době jsou trámečky připraveny ke zkoušení.

Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty dle ČSN EN 1015 – 10 [7]:

U stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty se nejprve zkoušené vzorky vloží do sušárny, kde se při teplotě $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ vysouší až do konstantní hmotnosti, které je dosaženo, když hmotnost tělesa se po dvou následujících váženích (v rozmezí 2 hodin) neliší o více než 0,2%. Objemová hmotnost ztvrdlé malty se pak určí podílem vysušené hmotnosti tělesa (m_s) s přesností na 10 kg/m^3 a jeho objemu (V_s).

Objemová hmotnost ztvrdlé malty (ρ_s) se pak vypočte podle vzorce:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3)$$

Objem zkušebních těles (V_s) se rovná objemu použité formy k výrobě trámečků.

$V_s = 256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$. Výsledná hodnota objemové hmotnosti se zapisuje s přesností na desítky.

5.2 Normové zkoušky zaměřené na problematiku vlhkosti

Vlhkost patří mezi vlastnosti, které podstatně ovlivňují chování a další vlastnosti stavebních výrobků. Vlhkost působí zejména u materiálů s vyšší porózitou, kde platí přímá úměra. Čím více je struktura materiálu otevřená, tím více vlhkosti se do materiálu dostává. Vlhkost má zpravidla negativní vliv na vlastnosti konstrukcí i samotných materiálů.

Stanovení vlhkosti materiálu jeho vysušením podle normy ČSN EN ISO 12570 [13]:

V první řadě je u této zkoušky potřeba zařadit zkoušený vzorek do skupiny materiálů, podle kterých se volí teplota sušení (viz. Tabulka č. 6).

Principem zkoušky je vypočítání vlhkosti zkoušených těles z jejich hmotností před sušením a po vysušení.

Tabulka č. 6: Předepsané teploty pro vysušení daných materiálů [13]

Materiál	Teplota sušení [°C]
Materiály uvolňující při vyšší teplotě krystalizační vodu nebo materiály ovlivněné nadouvadly, např. sádra a některé pěny	40 ± 2
Materiály s nestálou strukturou při teplotě 70 až 105 °C, např. určité lehčené plasty	70 ± 2
Materiály se stálou strukturou při 105 °C, např. dřevo nebo minerální materiály	105 ± 2

Zkoušení by mělo probíhat v laboratorních podmínkách při teplotě $(23 \pm 6)^\circ\text{C}$. Zkoušený vzorek se před vysušením zváží s přesností na 0,1% jeho hmotnosti, v případě požadavku na stanovení objemové vlhkosti, či objemové hmotnosti se změří také jeho rozměry a to s přesností 0,5 mm u kovového pravítka nebo s přesností 0,1 mm u posuvného měřidla. Poté se vzorek vloží do sušárny (viz. Obr. č. 17), která se nastaví na požadovanou teplotu (viz. Tabulka č. 6). Sušení probíhá tak dlouho, dokud není dosaženo konstantní hmotnosti, kdy se hmotnost vzorku neliší o více než 0,1 % celkové hmotnosti za poslední tři vážení s časovými odstupy minimálně 24 hodin. Zvážené hmotnosti se zapíší do vzorců a provede se výpočet.



Obr. č. 17: Sušení zkušebních hliněných trámečků [autor J.Hapl]

Výpočet **hmotnostní vlhkosti (u)**, je dán podílem hmotnosti vypařené vody a hmotnosti suchého vzorku. Vypočítá se podle vzorce (4) [13]:

$$u = \frac{m - m_0}{m_0} = 100 \cdot \frac{m - m_0}{m_0} \quad [\%] \quad (4)$$

,kde m ... hmotnost zkoušeného vzorku před vysušením [kg];

m_0 ... hmotnost vysušeného zkoušeného vzorku [kg].

Objemová vlhkost (ψ) se vypočítá podle vztahu (5) [13]:

$$\psi = u \cdot \rho_0 = \frac{\rho_0}{\rho_w} \quad [-] \quad (5)$$

,kde ρ_0 ... objemová hmotnost vysušeného vzorku [kg/m³];

ρ_w ... daná hustota vody (při teplotě 23 °C $\rho_w = 997,6$ kg/m³).

Měrná objemová vlhkost (w) se určí podle vztahu (6) [13]:

$$w = u \cdot \rho_0 = u \cdot \frac{m_0}{V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (6)$$

,kde ρ_0 ...objemová hmotnost vysušeného vzorku [kg/m³];

m_0 ...hmotnost vysušeného vzorku[kg];

V ... objem zkoušeného vzorku [m³].

Stanovení vztlínivosti keramického střepu dle technologického postupu užívaného v laboratoři - [33]:

Princip zkoušky je ovlivněn faktem, že keramický materiál má otevřené póry a při kontaktu s vodou dochází k pronikání vody do struktury keramického střepu. Dochází k tzv. vztlínání, kdy voda vlivem kapilárních sil stoupá nad hladinu vody, ve které je zkoušený materiál ponořen. Podle rychlosti vztlínání lze odhadnout míru porózy a prosákavosti materiálu. Za mezní hodnotu vztlínivosti se uvádí rychlost vztlínutí 50 mm / 90minut. Při vyšší dosažené hodnotě vztlínivosti se materiál řadí mezi prosákavé.

Postup zkoušky je následující. Na zkoušený vzorek se pro snadnější odečet hodnot vytvoří stupnice značená po 1 mm. Tělesa opatřená stupnicí se umístí do nádoby s destilovanou vodou, jejíž výška hladiny sahá přibližně 5 mm od podstavné plochy zkoušeného vzorku. Měří se rychlost vztlínání, kterou určuje výška, do které vystoupá vlhkost na vzorku, měřená v pravidelných intervalech po 5 minutách. Výsledkem je grafické vyjádření vztlínivosti na čase.

Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě dle ČSN EN 1015-18 [10]:

Předmětem zkoušky je ponoření upravených a vysušených zkoušených těles do nádoby s destilovanou vodou a jejich vážení ve vymezených časových úsecích.

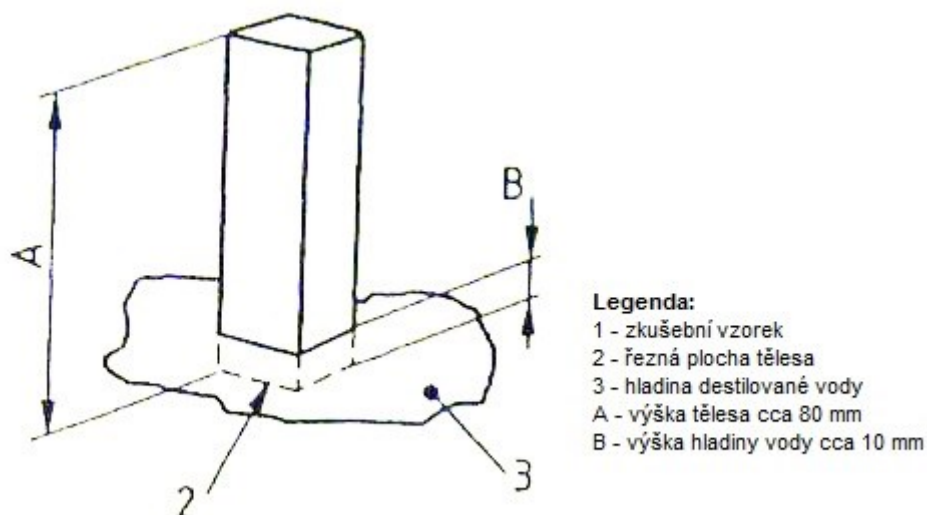
Nejprve se připraví trámečky o rozměrech 40x40x160 mm (viz. kapitola 5.1). Před plněním formy se na její dno uloží filtrační papír. Maltou se pak vyplní celá forma a zarovná s jejím okrajem. Povrch malty se přikryje filtračním papírem. Forma se vzorky se ukládá v předepsaných podmínkách (viz. Tabulka č. 7) a následně se trámečky odformují.

Tabulka č. 7: Podmínky uložení vzorků různých druhů malt [10]

Druh malt	Doba uložení ve dnech při teplotě $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$		
	Relativní vlhkosti (RV) $(95 \pm 5) \%$		RV $(65 \pm 5) \%$
	ve formě	vyjmuté z formy	vyjmuté z formy
Vápenné malty	5	2	21
Vápenocementové malty s větším než 50 % obsahem vápna	5	2	21
Cementové a jiné vápenocementové malty	2	5	21
Malty s jinými hydraulickými pojivy	2	5	21
Malty se zpozdovací přísadou	5	2	21

Po dané době vyžrání se všechny podélné strany zkušebních těles opatří epoxidovým nebo jiným utěšňujícím nátěrem a poté se rozlomí na přibližně dvě stejné části. Takto upravené zkušební tělesa se vloží do sušárny, kde se při teplotě $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$ vysuší do konstantní hmotnosti.

Zkušební tělesa se postaví lomovou plochou dolů do nádoby s destilovanou vodou, jejíž výška hladiny se po celou dobu zkoušky udržuje cca na 10 mm (viz. Obr. č. 18). Pro lepší kontakt tělesa s vodou se pod lomovou plochu tělesa vloží podložky z filtračního papíru.



Obr. č. 18: Zkušební těleso ponořené v nádobě s destilovanou vodou [10]

S ponořením vzorků do nádoby s vodou se spouští stopky. V čase 10 minut a 90 minut se pak váží hmotnosti zkušebních těles (m_1 a m_2) s přesností na 0,1% jeho hmotnosti. Z naměřených hodnot se pak vypočítá koeficient kapilární absorpce C .

Výpočet **koeficientu kapilární absorpce vody (C)** probíhá podle vztahu (7) [10]:

$$C = 0,1 \cdot (m_1 - m_2) \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})] \quad (7)$$

,kde m_1 ...hmotnost vzorku nasáklého v destilované vodě po dobu 10 minut [g];

m_2 ... hmotnost vzorku nasáklého v destilované vodě po dobu 90 minut [g];

Jednotlivé výsledky hodnot kapilární absorpce vzorků se zaokrouhlí na 0,05 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ a následně se z nich vypočítá průměr. Výsledná hodnota kapilární absorpce se zaokrouhlí s přesností na 0,1 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$.

Určení hygroscopických sorpčních vlastností stavebních materiálů dle normy ČSN EN ISO 12571 [14]:

Principem zkoušky je vytvoření adsorpční a desorpční křivky. K vytvoření adsorpční křivky je zapotřebí těleso (vysušené na konstantní hmotnost), které je postupně umisťováno do čtyř zvolených zkušebních prostředí od nejnižší po nejvyšší relativní vlhkost vzduchu. Jednotlivé zkušební prostředí udržují po celou dobu zkoušky konstantní teplotu. Pro každé zkušební prostředí se určí maximální dosažená hmotnostní vlhkost vzorku. Adsorpční křivka

se pak vykreslí z naměřených hodnot vlhkosti zkoušených těles a relativní vlhkosti vzduchu prostředí, ve kterém byla tělesa umístěna. Desorpční křivka se vytvoří obdobně jako křivka adsorpční a jen s tím rozdílem, že zkoušené vzorky se umísťují do prostředí sestupně od nejvyšší relativní vlhkosti po nejnižší relativní vlhkost vzduchu, tedy přesně naopak než jak je tomu u adsorpční křivky. Měření začíná nejvyšší zvolenou relativní vlhkostí, která však dosahuje nejméně 95 %. Této vlhkosti lze dosáhnout jako poslední měřené hodnoty u adsorpční křivky nebo požadovanou adsorpcí vysušeného vzorku. Desorpční křivka se pak vykreslí obdobně z naměřených vlhkostí vzorků v jednotlivých vlhkostních prostředích.

Adsorpční i desorpční křivku je možné sestrojit dvěma zkušebními metodami:

Exsikátorová metoda využívá exsikátor jako hlavní zkušební zařízení. Na dno exsikátoru se uloží nádoba s nasyceným vodním roztokem, který se připraví tak, aby uvnitř exsikátoru vytvořil potřebné klimatické prostředí, především relativní vlhkost vzduchu (RV). Po vytvoření požadované relativní vlhkosti se do exsikátoru vloží zkoušené vzorky. Po celou dobu zkoušení musí být exsikátor uložen v prostředí s konstantní teplotou.

Metoda klimatizační komory využívá tuto zjednodušenou technickou vymoženost pro vytvoření požadovaných prostředí. Tímto zařízením je právě klimatizační komora, která udržuje požadovanou hodnotu relativní vlhkosti i teploty vzduchu podle zvoleného nastavení.

Způsob vážení je totožný u obou metod. Zkušební vzorky se váží tak dlouho, dokud není dosaženo jejich konstantní hmotnosti. Konstantní hmotnosti vzorku se dosáhne, není-li rozdíl mezi posledními třemi váženími (minimálně po 24 hodinách) větší než 0,1 % celkové hmotnosti vzorku.

Při měření hygroskopických vlastností stavebních materiálů je zapotřebí, jak bylo výše uvedeno, zvolit si čtyři vlhkostní prostředí, ve kterých se budou zkoušené materiály měřit. K určení optimálního rozložení vlhkosti ve vnitřních prostorech budov (viz. Tabulka č. 8) nám poslouží norma ČSN P 73 0610 [18].

Tabulka č. 8: Relativní vlhkost vzduchu uvnitř budov [18]

Vlhkostní klima vnitřního prostředí	Relativní vlhkost vzduchu (RV) [%]
Suché	< 50
Normální	50 až 60
Vlhké	60 až 75
Mokré	> 75

K získání podrobnějších hodnot klimatických podmínek ve vnitřních částech budovy (viz. Tabulka č. 9) lze použít normu ČSN 73 0540 – 3 [1].

Tabulka č. 9: Návrhové hodnoty vnitřního klimatického prostředí v zimním období

Druh místnosti trvale užívané obytné budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí	Návrhová vnitřní teplota v zimním období θ_i [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\phi_i^{1)}$ [%]
Obývací místnosti (ložnice, dětské pokoje, aj.)	20	50
Kuchyně	20	50
Koupelny	24	$\phi^{2)}$
Klozety	20	50
Vytápěné vedlejší místnosti (předsíně, chodby, aj.)	15	50
Vytápěné schodiště	10	50
¹⁾ Informativní hodnoty relativní vlhkosti vnitřního vzduchu vytápěných místností		
²⁾ Střední hodnota relativní vlhkosti vzduchu vyhodnocena za celý den pro dané prostředí		

Stanovení propustnosti vodních par zatvrdlými maltami pro vnitřní a vnější omítky podle normy ČSN EN 1015-19 [11]:

Podstatou zkoušky je zhotovení kruhových zkušebních těles, které se vloží do kruhových misek a jejich okraje se k miskám přitmelí. V miskách se za pomoci nasycených roztoků solí udržuje konstantní tlak vodních par. Následně se misky společně se vzorky přesunou do prostředí s kontrolovaným rozmezím teploty a s konstantním tlakem, který je však odlišný od tlaku vodních par uvnitř misek. Výsledkem je zjištění za jakou dobu dojde k přesunu vlhkosti z jednoho prostředí do druhého. Samotné zkoušení se provádí za pomoci gravimetrického vážení misek (s přesností 1 mg), jejichž hmotnost se mění vlivem změny obsahu vody. Výsledek je vyjádřen grafem, který znázorňuje změnu hmotnosti v čase pro každý rozsah hygroskopicity. Tato zkouška se pro finanční a časovou náročnost neprováděla.

5.3 Normové zkoušky zaměřené na mechanické charakteristiky

Odolnost a také životnost stavebních konstrukcí je mimo jiné ovlivňována mechanickými vlastnostmi stavebních materiálů. Mechanické vlastnosti udávají odolnost daného materiálu vůči mechanickému namáhání jako je např. napětí, deformace, odtržení, tření, aj., které mohou působit jednotlivě nebo kombinovaně a degradovat tak materiál větší mírou. Většinu z uvedených namáhání lze simulovat na vzorcích či samotných částech konstrukcí pomocí laboratorních destruktivních nebo nedestruktivních metod. Jako podklad k prováděným postupům zkoušek slouží opět technické normy.

Pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a tlaku podle normy ČSN EN 1015 - 11 [8]:

Pevnost v tahu za ohybu se zkouší na třech normových trámečkách (viz. kapitola 5.1), které se rovnostranně uloží na podpory tříbodového zatěžovacího lisu. Zatížení, působící kolmo na směr plnění trámečku, se postupně zvyšuje až do jeho porušení. Tím dojde k rozlomení trámečku na dvě stejné části. Na těchto částech se pak zkouší pevnost v tlaku. Jednotlivé části trámečku se do tlakového lisu umístí kolmo na směr plnění, aby zatěžující destičky lisu dosedaly na šířku zkoušeného vzorku. Rychlost zatěžování se v laboratorním lise nastaví podle předpokládaných pevností (viz. Tabulka č. 10).

Tabulka č. 10: Rychlost zatěžování malt v tlaku [8]

Malty pro zdění		Malty pro vnitřní a vnější omítky	
Třída	Rychlost zatížení [N/s]	Kategorie	Rychlost zatížení [N/s]
M 1	50	CSI	50
M 2,5	100	CSII	100
M 5	200	CSIII	200
M 10	300	CSIV	400

Pevnost v tahu za ohybu (R_f) se vypočte podle následujícího vztahu (8):

$$R_f = \frac{3 \cdot F_f \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (8)$$

,kde F_f ... zatěžující síla v tahu za ohybu [N];

l ... vzdálenost mezi podporami $l = 100\text{mm}$;

b ... šířka trámečku [mm];

h ... výška trámečku [mm].

Výsledná pevnost v tlaku (R_c) se určí ze vztahu (9):

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (9)$$

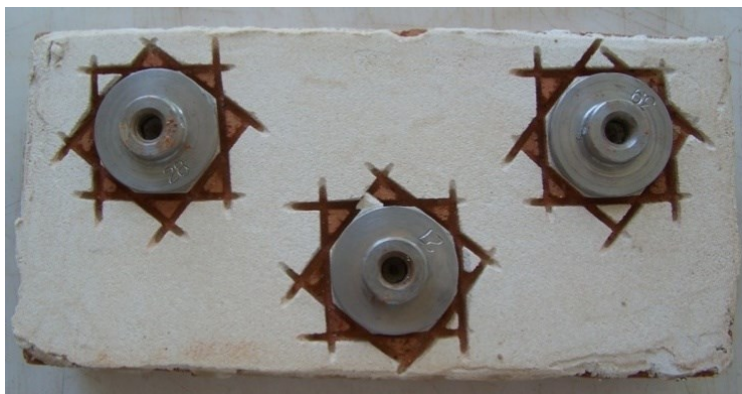
,kde F_c ... zatěžující síla v tlaku [N];

A ... zatěžující plocha vzorku [mm^2].

U každého zkušebního tělesa se pevnost v tahu za ohybu i v tlaku zaokrouhlí na 0,05 N/mm². Z jednotlivých vypočtených hodnot pevností se vypočítá průměr, který se zapíše s přesností na 0,1 N/mm².

Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu dle normy ČSN EN 1015-12 [9]:

Principem zkoušky je určení přídržnosti zkoušené malty k podkladu. Jako podklad mohou být použity pálené zdící cihly, pórobetonové nebo betonové tvárnice či desky. V případě, kdy není výrobcem určen použitý materiál, je jako podklad potřeba použít betonovou desku o minimálních rozměrech (50 x 150 x 550) mm. Vrstva zkoušené malty se na podklad nanáší podle pokynů výrobce v celkové tloušťce vrstvy (10 ± 1) mm, pokud není výrobcem předepsáno jinak. Po dostatečném zatvrdnutí malty se zkušební kruhová plocha prořeže cca 2 mm do podkladní vrstvy. Následně se pomocí epoxidového lepidla přilepí terčíky tak, aby lepidlo nepřetékało přes okraj oříznuté plochy (viz. Obr. č. 19). Síla při odtržení se měří zkušebním zařízením u 28 dní odleželých vzorků.



Obr. č. 19: Prořezané přilepené terčíky ke zkoušené maltě [autor J.Hapl]

Tahové zatížení je prováděno rovnoměrně a bez nárazů. Rychlost zatěžování se odvíjí od předpokládané přídržnosti, která se pohybuje v rozmezí od 0,003 N/(mm².s) do 0,100 N/(mm².s). Rychlost zatížení se volí tak, aby došlo k porušení mezi 20 s až 60 s (viz. Tabulka č. 11).

Tabulka č. 11: Rychlost zatěžování [9]

Předpokládaná přídržnost	Nárůst zatížení
N/mm ²	N/(mm ² .s)
< 0,2	0,003 až 0,010
0,2 až 0,5	0,011 až 0,025
0,5 až 1,0	0,026 až 0,050
> 1,0	0,05 až 0,100

Primárně se zaznamená zatížení, při kterém došlo k odtržení a dále se popíše způsob porušení vzorku, kdy mohou nastat čtyři případy odtržení:

- odtržení na styku malty s podkladem (slabá přilnavost);
- odtržení ve zkoušené vrstvě omítky / malty (slabá soudržnost malty);
- odtržení podkladu (slabá soudržnost podkladního materiálu);
- odtržení ve vrstvě lepidla mezi kruhovým terčem a maltou se vyloučí.

Výpočet přídržnosti (f_u) je dána následujícím vztahem (10) [9]:

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (10)$$

,kde F_u ... zatěžující tahová síla [N];

A...tahem zatěžovaná plocha [mm²].

Přídržnosti jednotlivých hodnot se zaokrouhlují na 0,05 N/mm² a následně vypočítá průměr s přesností 0,1 N/mm². Odtrhy, u kterých nedojde k porušení mezi maltou a podkladem, se posuzují jako nízké hodnoty přídržnosti a musejí být zohledněny ve výpočtu.

Stanovení soudržnosti malt pro jednovrstvé vnější omítky s podkladem podle normy ČSN EN 1015-21 [12]:

Principem zkoušky je vystavení zkoušených ztvrdlých malt teplotním a vlhkostním cyklům. Na zkoušených tělesech se provedou dva typy zkoušení:

- a) propustnosti vody při působení hydrostatického tlaku vody na zkoušený povrch omítky;
- b) přídržnosti dle normy ČSN EN 1015-12.

Nejprve se malty podrobí 1. sérii čtyř cyklů ohřívání – zmrazování a 2. sérii čtyř cyklů vlhčení – zmrazování. Před zkouškou propustnosti vody se zkušební vzorky umístí na 48 hodin do prostoru s konstantní teplotou a tlakem. K povrchu omítky se přitmelí kovový trychtýř, ve kterém je udržována po dobu 48 hodin výška hladiny vody na 100 mm. Podstatou zkoušení je zjistit množství vody v ml, které je třeba k udržení stálé výšky vody.

Tělesa se poté uloží na dobu 4 dnů do normalizovaného prostředí (teplota $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost $65 \pm 5\%$). Následně se provede zkouška přídržnosti dle ČSN EN 1015-12. Tato zkouška slouží k ověření soudržnosti vnějších malt s podkladem, ale z důvodů nedostatečného technického vybavení nebyla prováděna.

Stanovení otěruvzdornosti povrchových úprav stavebních materiálů podle normy ČSN 73 2582 [2]:

Princip zkoušky spočívá ve stanovení doby obrusu zkoušené povrchové vrstvy. Zkouška se provádí na zavhlhlých povrchových úpravách používaných v interiérech i exteriérech, například u malt pro omítání, lepidel, nátěrů atd. Mechanického otírání je dosaženo pomocí otáčejícího se štětce, který zatěžuje zkušební povrch silou 0,5 N při rychlosti 2 otáčky za sekundu.

Postup zkoušky je následující. Zkušební materiál se nanáší na sklo nebo na podklad jemu určený, tak aby tvořil plochu nejméně 50 mm x 150 mm. K provedení zkoušky je zapotřebí minimálně dvou zkušebních vzorků a na každém z nich se provedou celkem 3 zkoušení. Výsledkem je změřený čas v minutách, za který se zkoušená vrstva obrousí až na podklad. V případě, že k probroušení povrchu nedojde ani po 60 minutách, zkouška se ukončí.

6 Testování hliněných omítek

Ke zkoušení modifikovaných hliněných omítek byly využity obdobné zkoušky jako v bakalářské práci, které byly doplněny dalšími upravenými laboratorními a experimentálními zkouškami. V této práci byly taktéž použity některé výsledky pro referenční záměši, zjištěné již v rámci předchozí závěrečné práce.

6.1 Materiály použité pro testování

Zkoušky byly prováděny na hliněných omítkách průmyslově vyráběných firmou Picas. Tato firma vyrábí omítky z čistě přírodních materiálů a s širokým výběrem sortimentu hliněných omítek (jemné, hrubé, barevné klasické hnědé atd.). Pro zkoušení byly vybrány 3 typy omítek, které byly již dříve zkoušeny v mé bakalářské práci.

Jemná omítka dekorativní Art (JD) (viz. Obr. č. 20) je jemná omítka zabarvená do různých barev. Odstín a barvu hliněné omítky vytváří druh jílu (kaolinitu), který je obsažen ve směsi, více informací viz. Příloha 1.



Obr. č. 20: Nanesená jemná dekorativní omítka (JD) [Autor J.Hapl]

Jemná omítka Econom (J) (viz. Obr. č. 21) je jemná omítka (viz. kapitola 3.1) světlehnědé barvy, obsahující illitické jíly. V této hliněné směsi jsou zamíchány částičky pomletých bylin (např. heřmánek), podrobnější informace viz. Příloha 2.



Obr. č. 21: Nanesená jemná omítka (J) [Autor J.Hapl]

Hrubá omítka s řezankou Econom (HR) (viz. Obr. č. 22) je hrubá omítka (viz. kapitola 3.1), která je tvořena hrubší frakcí písku i pomletou slámou (řezankou) a obsahuje o 10 % více jílu než jemná omítka Econom, bližší informace viz. Příloha 3.



Obr. č. 22: Nanesená hrubá omítka (HR) [Autor J.Hapl]

Tyto 3 druhy hliněných omítek byly modifikovány křemičitany, konkrétně se jednalo o dva hydrofobní prostředky (Lukofob 39 a vodní sklo), které se aplikovaly na zkoušené omítky dvěma způsoby:

- a) formou nátěrové vrstvy na povrch ztvrdlých hliněných omítek nebo na povrch zkušebních trámečků;
- b) jako hydrofobní přísada přimíchaná společně s vodou do čerstvé hliněné omítky v 5 % a 10 % náhradě záměsové vody modifikačním prostředkem.

Celkově se testovaly 3 druhy omítek a každá z nich byla upravena šesti modifikacemi (viz. Tabulka č. 12), což odpovídá v součtu 18 různým záměsím + 3 záměsím bez přísad a nátěrů (bez). Některé výsledné hodnoty zkoušek (např. objemové hmotnosti, konzistence, pevnosti a hygroskopicitu) byly u referenčních omítkových směsí převzaty z bakalářské práce, ovšem byly také podrobeny zkouškám novým (např. vzlínavost, kapilární absorpce, přidržnost, atd.).

Tabulka č. 12: Modifikace hliněných omítek hydrofobními přípravky

Druh omítky	Použité modifikační přípravky	
	Lukofob 39	Vodní sklo
Jemná dekorativní omítka (JD)	5 % náhrada záměsové vody (L5)	5 % náhrada záměsové vody (V5)
	10 % náhrada záměsové vody (L10)	10 % náhrada záměsové vody (V10)
	povrchový nátěr (Ln)	povrchový nátěr (Vn)
Jemná omítka (J)	5 % náhrada záměsové vody (L5)	5 % náhrada záměsové vody (V5)
	10 % náhrada záměsové vody (L10)	10 % náhrada záměsové vody (V10)
	povrchový nátěr (Ln)	povrchový nátěr (Vn)
Hrubá omítka (HR)	5 % náhrada záměsové vody (L5)	5 % náhrada záměsové vody (V5)
	10 % náhrada záměsové vody (L10)	10 % náhrada záměsové vody (V10)
	povrchový nátěr (Ln)	povrchový nátěr (Vn)

6.1.1 Modifikační přípravky na bázi křemičitanů

K úpravě hliněných omítek byly použity dva hydrofobní přípravky:

- Lukofob 39;
- vodní sklo sodné 36/38 Eurošarm (příloha č. 6).

Lukofob 39 je silikonová alkalická kapalina žluté až žlutohnědé barvy, která je neomezeně ředitelná vodou. Jde o koncentrát, který se ředí v poměru 1:10 až 1:20 podle pórovitosti ošetřovaného materiálu. Lukofob slouží jako hydrofobizátor pro porézní stavební materiály (např. omítky, beton, plynosilikáty, cihly, aj.). Zajišťuje větší odolnost proti vlhkosti, snižuje míru zašpinění, neboť nedojde ke vsáknutí prachu do materiálu, ochraňuje podklad před vyplavováním rozpustných částí, zvyšuje životnost materiálu a zároveň zajišťuje, aby byl materiál stále paropropustný. Bližší informace o vlastnostech Lukofobu 39 jsou uvedeny v technickém listu (viz. Příloha č. 4).

Tento přípravek lze nanášet pomocí štětce (méně účinné) nebo formou nástřiku. Lukofob jako hydrofobizátor je však nutné aplikovat na suchý a čistý povrch v jedné vrstvě nebo dokud se vsakuje do porézního materiálu. Nesmí však dojít ke stékání na povrchu materiálu, protože v tomto případě se musí přebytečná vrstva setřít látkovou tkaninou, jinak může dojít k tvorbě výkvětů. Aby přípravek plnil hydrofobní funkci, musí se aplikovat při teplotách v rozmezí 5 až 30°C a ošetřený povrch nesmí do 24 hodin od nanesení zmoknout. Nejvyšších hydrofobních účinků dosahuje po více než 3 dnech [34]. Lukofob 39 lze využít také k injektáži zavlhělého zdiva (viz. Příloha č. 5).

Vodní sklo je čirá nebo také zakalená kapalina, která byla roku 1825 takto pojmenována v odborné publikaci mnichovským profesorem J. N. von Fuchsem. Fuchs tento produkt zkoumal a vytvořil také metodické postupy na výrobu vodního skla - sodného, draselného, litného i jiných. Vodní sklo vzniká rozpuštěním určitého alkalicko-křemičitého skla ve vodě. Průmyslový rozvoj výroby vodního skla nastal v polovině 19. století. Mezi jeho charakteristické vlastnosti patří křemičitý modul M , který je dán molárním poměrem $\text{SiO}_2/\text{Me}_2\text{O}$ a jeho hodnota se u vodního skla pohybuje mezi $M = 2,0$ až $3,7$. Mezi další důležité parametry patří hodnota pH, viskozita a hustota udávající informace o složení i koncentraci roztoku vodního skla [27].

Z počátku se produkt využíval k průmyslové výrobě mýdla. Později se začalo vodní sklo využívat k restaurování památek (maleb, pískovcových a kamenných soch, aj.). Využívání vodního skla k sanacím materiálů trvalo od začátku 19. až do poloviny 20. století, kdy se zjistilo, že tento produkt památky v průběhu času degraduje ještě více a to zejména kvůli tomu, že snižuje paropropustnost materiálu [25]. Nyní se používá zejména sodné vodní sklo, ze kterého se vyrábějí, nátěrové stavební hmoty a tmely.

6.2 Použité experimentální a laboratorní metody

V rámci testování fyzikálních a mechanických vlastností hliněných omítek, byly na zkušebních vzorcích provedeny tyto zkoušky:

- příprava hliněných vzorků:
 - stanovení konzistence rozlití;
 - stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty;
 - příprava zkušebních trámečků;
 - aplikace termické analýzy pro hodnocení míchání zkušebních trámečků;
- stanovení vlhkostního chování vzorků v definovaných prostředích:
 - monitorování v laboratorním prostředí (KP1);
 - monitorování v prostředí s vlhkostí 60 % a teplotou 20 °C (KP2);
 - monitorování v prostředí s vlhkostí 80 % a teplotou 15 °C (KP3);
- stanovení vztlakovosti hliněných těles;
- stanovení koeficientu kapilární absorpce;
- hodnocení odolnosti vůči vodě;
- stanovení objemové hmotnosti zatvrdlých malt;
- stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku;
- stanovení přídržnosti malt k podkladu;
- stanovení oděruvzdornosti pomocí upravené Kučerovy vrtačky.

6.3 Příprava hliněných vzorků

Před samotným zkoušením ztvrdlých omítkových malt je potřeba si připravit čerstvé omítkové směsi a podrobit je základním zkouškám.

Ke zkoušení vzorků malt se připraví minimální množství směsi podle normy ČSN EN 1015 – 2. Suchá omítková směs se přesype do míchačky (viz. Obr. č. 23), ke které

se přidá požadované množství vody a přísad (viz. Tabulka č. 13). Čerstvá směs se míchá přibližně 2 minuty, poté se nechá na dobu 5 minut (u jemné dekorativní omítky 30 minut) odstát¹. Po této době jsou už všechny složky včetně organických částí rostlin zvlhčené. Odleželá směs se opět promíchá a čerstvá malta je připravena ke zkoušení (viz. Obr. č. 24).



Obr. č. 23 Laboratorní míchačka



Obr. 24: Čerstvá hliněná omítka [Autor J.Hapl]

Tabulka č. 13: Množství složek míchané směsi

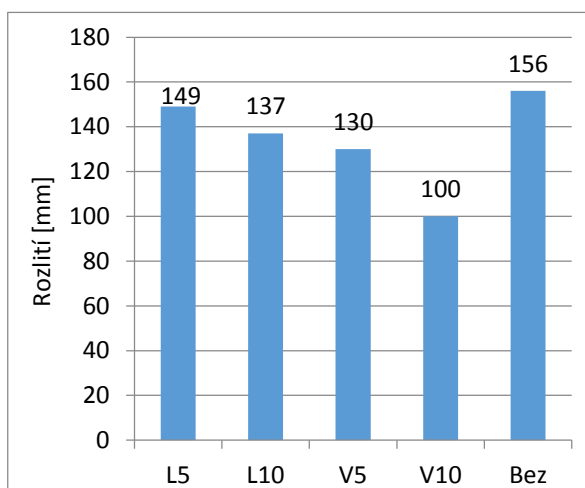
Druh omítky	Hmotnost směsi	Procentuální zastoupení přísady	Množství vody	Množství přísady
	[kg]		[ml]	[ml]
J	2	Bez ¹⁾	340	0
		5 % L (V)	323	17
		10 % L (V)	306	34
JD	2	Bez	560	0
		5 % L (V)	532	28
		10 % L (V)	504	56
HR	2	Bez	380	0
		5 % L (V)	361	19
		10 % L (V)	342	38
Poznámka: ¹⁾ Bez – bez přísady (referenční směs); L – Lukofob 39; V - vodní sklo				

6.3.1 Stanovení konzistence rozlití

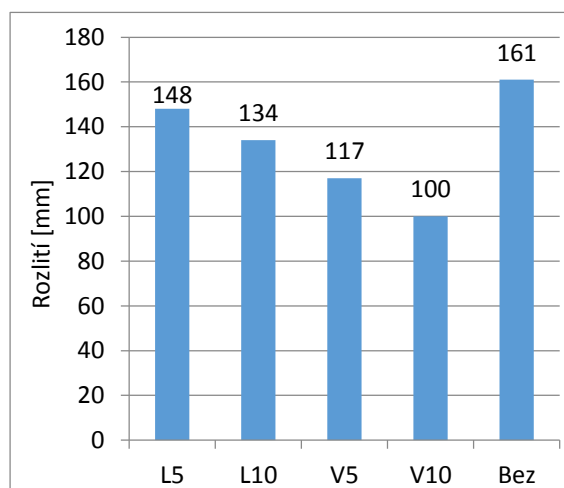
Zkouška konzistence rozlití čerstvých malt se provede podle normy ČSN EN 1015- 3. Změřené hodnoty rozlití v mm neodpovídají normě, což ovšem není příliš vážný problém, neboť nejde o normový materiál. Zkouška je prováděna hlavně z důvodu určení způsobu hutnění a k porovnání konzistence rozlití modifikovaných a nemodifikovaných zkoušených omítek.

¹ Pouze u přísady vodního skla se musela doba odležení zkrátit max. na 5 minut u všech druhů omítek z důvodů rychlé hydratace směsi.

U výsledných hodnot rozlití malt lze vidět (viz. Graf č. 1, 2), že malty s modifikačními přísadami dosahovaly výrazně nižších hodnot rozlití (viz. Obr. č. 25), zejména pak směsi s 10 % zastoupením vodního skla v záměsové vodě, u kterých při zkoušce nedošlo vůbec k žádnému rozlití (viz. Obr. č. 26)². U vzorků hrubých omítek (HR) nebyla zkouška konzistence rozlití prováděna, neboť již u referenčních vzorků bylo dosaženo velmi nízkých hodnot rozlití 131 mm.



Graf č. 1: Konzistence rozlití jemné omítky



Graf č. 2: Konzistence rozlití jemné dekorativní omítky



Obr. č. 25: Konzistence dekorativní omítky s 5% přísadou Lukofobu 39 v záměsové vodě [Autor J.Hapl]



Obr. č. 26: Konzistence jemné omítky s 10 % přísadou vodního skla v záměsové vodě [Autor J.Hapl]

² Hodnota rozlití byla jen 100 mm, která je vyobrazena v grafu a znázorňuje pouze průměr naplněné nádoby.

U směsí s přísadami docházelo k rychlejšímu vysychání čerstvé malty, která musela být rychle zpracovávána, jinak by došlo k jejich zatuhnutí a ztvrdnutí. Z toho také vyplývá, že veškeré maltové směsi s modifikacemi byly do forem plněny podle normy vibrační metodou [6] a navíc zhutňovány dusadlem, čímž se docílilo kompletního vyplnění formy čerstvou maltou. Referenční malty byly hutněny pouze vibrační metodou.

6.3.2 Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty

Objemová hmotnost čerstvých ρ_m hliněných malt se určí podle normy ČSN EN 1015 – 6 ze vztahu (2):

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_v} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

, kde: m_1 ...hmotnost nádoby [kg];

m_2 ...hmotnost malty i nádoby [kg];

V_v ...objem plněné nádoby [m^3].

Jednotlivé objemové hmotnosti záměsi se zprůměrují a výsledná hodnota ρ_m se zaokrouhlí na desítky kg/m^3 .

Zkoušené čerstvé směsi hliněných omítek se plní do nádoby pomocí dusadla a vibrační metody. Výsledné hodnoty objemových hmotností čerstvých malt (viz. Graf č. 3) se výrazně liší pouze u jemné dekorativní omítky, kdy má referenční záměs o více než 150 kg/m^3 menší objemovou hmotnost v porovnání se směsmi modifikovanými vodním sklem a Lukofobem. Největší objemové hmotnosti je dosaženo u jemné omítky s 10 % náhradou vodního skla v záměsové vodě. Naopak nejmenší objemové hmotnosti, pokud se nepočítá jemná dekorativní omítka bez přísady, jsou zaznamenány u jemných i hrubých omítek (J, HR) s 5 % náhradou záměsové vody Lukofobem 39.



Graf č. 3: Objemové hmotnosti zkoušených čerstvých omítkových malt

6.3.3 Příprava zkušebních trámečků

Zkušební trámečky, vyráběné z hliněných omítek, jsou vyráběné ve formách dle normy ČSN EN 1015-11, ale na rozdíl od cementových a jiných malt, kde dochází při zrání k chemické reakci, u hliněných malt dochází k jejich vytvrzení pouze vlivem dehydratace a to bez žádných chemických změn. Po naplnění formy hliněnou omítkou se tyto formy nevkládají do vlhkostní komory jako např. u cementových malt, ale nechávají se ztvrdnout vlivem vysychání v laboratorním prostředí. Hliněné trámečky se odformují nejdříve po 2 až 3 dnech, kdy jsou částečně ztvrdlé. Při dřívějším odformování těles hrozí jejich poškození. Ke zkoušení jsou hliněné trámečky připraveny až po ustálení hmotnostní vlhkosti u . V případě dehydratace v laboratorním prostředí trvá zrání vzorků cca 7 dní. Po této době se vzorky uloží do sušárny, kde se vysuší až na nulovou vlhkost.

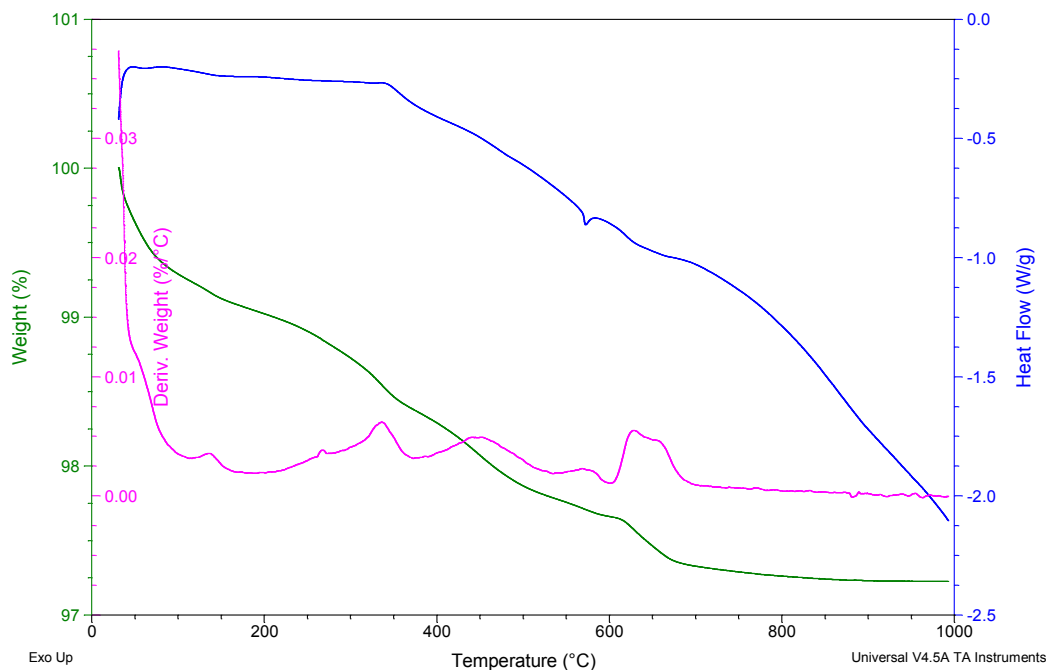
6.3.4 Aplikace termické analýzy pro hodnocení míchání zkušebních trámečků

K ověření modifikačních látek byly vzorky podrobeny termické analýze, následně se provedlo srovnání vzorků referenčních (viz. Obr. č. 27) a modifikovaných (viz. Obr. č. 28) s průběhem termické analýzy Lukofobu 39 (viz. Obr. č. 29) a vodního skla (viz. Příloha č. 11).

Sample: JH_J
Size: 20.6490 mg
Method: SWI_custom
Comment: omítka J, 10/1000, air

DSC-TGA

File: F:\docasne\JH_J.001
Operator: mec
Run Date: 25-Apr-2014 11:05
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

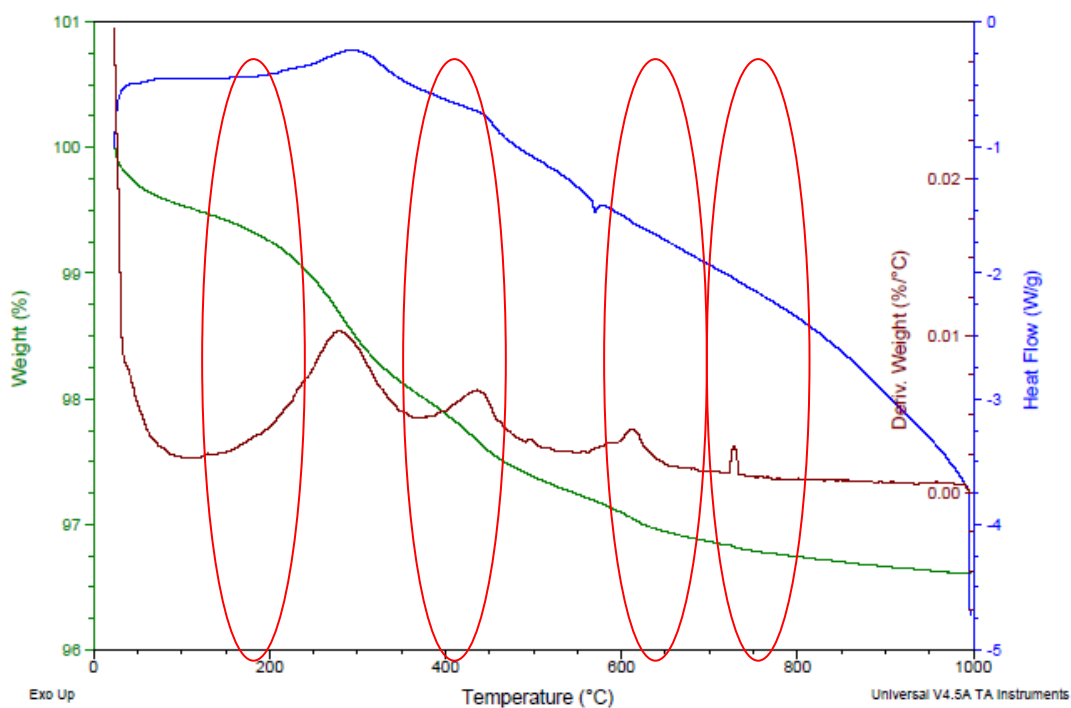


Obr. č. 27: Termická analýza jemné hliněné omítky bez modifikací

Sample: JN_luk10
Size: 19.8800 mg
Method: Ramp
Comment: Hapl DP, JN Lukofob10%, 10C/min, do1000C, air

DSC-TGA

File: E:\docasne\hapl\JN_luk10.001
Operator: majstrikova
Run Date: 18-Sep-2015 08:53
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

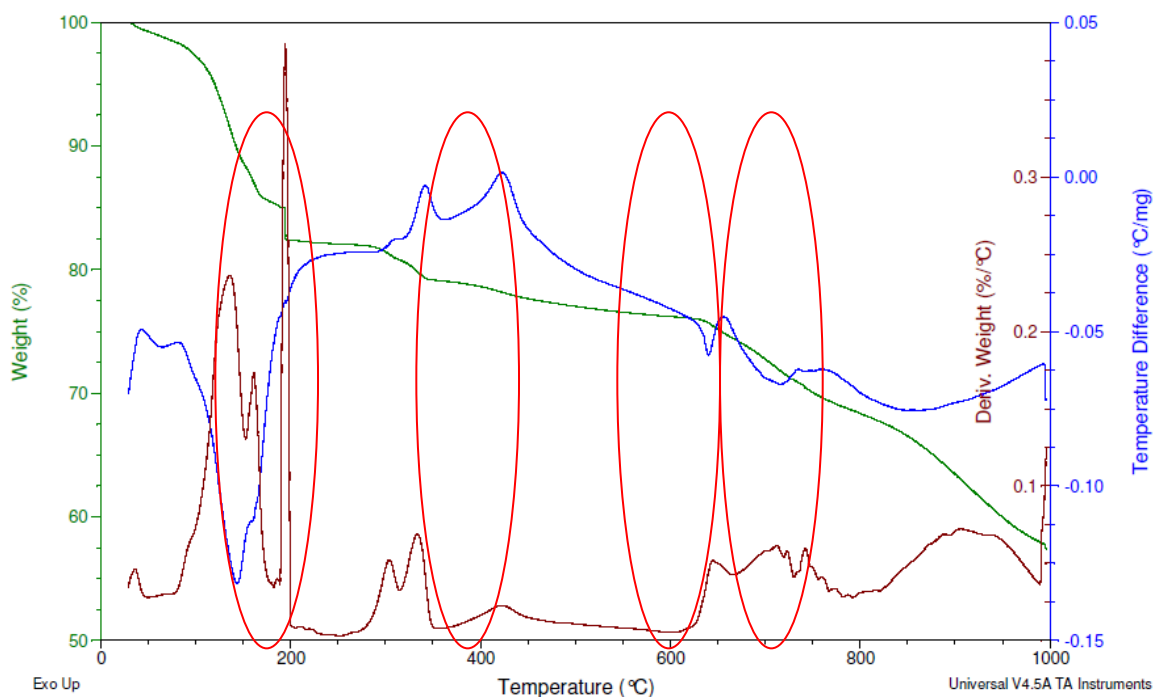


Obr. č. 28: Termická analýza jemné omítky modifikované 10% Lukofobem 39

Sample: Lukofob
Size: 28.9940 mg
Method: Ramp
Comment: organosilan, Lukofob 39, 10C/min., do1000C, air

DSC-TGA

File: H:\Term_drevo_PRIM\lukofob.001
Operator: murinova
Run Date: 18-Dec-2013 12:43
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



Obr. č. 29: Termická analýza Lukofobu 39

Toto zhodnocení bylo provedeno na přístroji SDT Q600, který využívá kombinování analytických metod termogravimetrické analýzy a diferenční skenovací kalorimetrie (TG/DSC). Rovnoměrné rozložení modifikované látky (Lukofobu 39) ve struktuře omítky je vyjádřeno červenými kroužky v obrázku (viz. Obr. č. 28, 29), v těchto místech dochází k výskytu typických píků pro Lukofob 39. Ovšem v některých místech jsou tyto píky překryty termickými rozklady samotné omítky, což popisuje první obrázek (viz. Obr. č. 27).

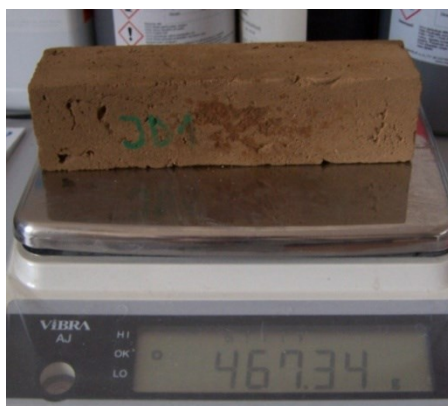
6.4 Stanovení vlhkostního chování v definovaných prostředích

Na ztvrdlých vzorcích hliněných omítek se měřil hygroskopický nárůst vlhkosti ve třech klimatických prostředích (viz. Tabulka č. 14).

Tabulka č. 14: Klimatické prostředí zkoušených omítek

Klimatické prostředí	Relativní vlhkost vzduchu	Teplota vzduchu
KP1	30%	23°C
KP2	60%	20°C
KP3	80%	15°C

Zkouška se prováděla na hliněných trámečcích, které se musely před zkoušením hygroskopicity vysušit do konstantní hmotnosti (m_0) při zvolené teplotě 105 °C, která je určena normou ČSN EN ISO 12570. Po vysušení vzorků na nulovou vlhkost, se trámečky zvážily na laboratorní váze s přesností minimálně na 0,1 g (viz. obr. č. 30) a změřily jejich rozměry s přesností na 0,1 mm. Ze získaných hodnot se následně vypočítaly objemové hmotnosti hliněných trámečků (ρ_0) (viz. kapitola 6.8).



Obr. č. 30: Vážení trámečků [Autor J.Hapl]

Jednotlivé sady vzorků se následně umístily do klimatické komory, která se nastavila na požadovanou teplotu a relativní vlhkost (RV) podle zvolených klimatizačních prostředí.

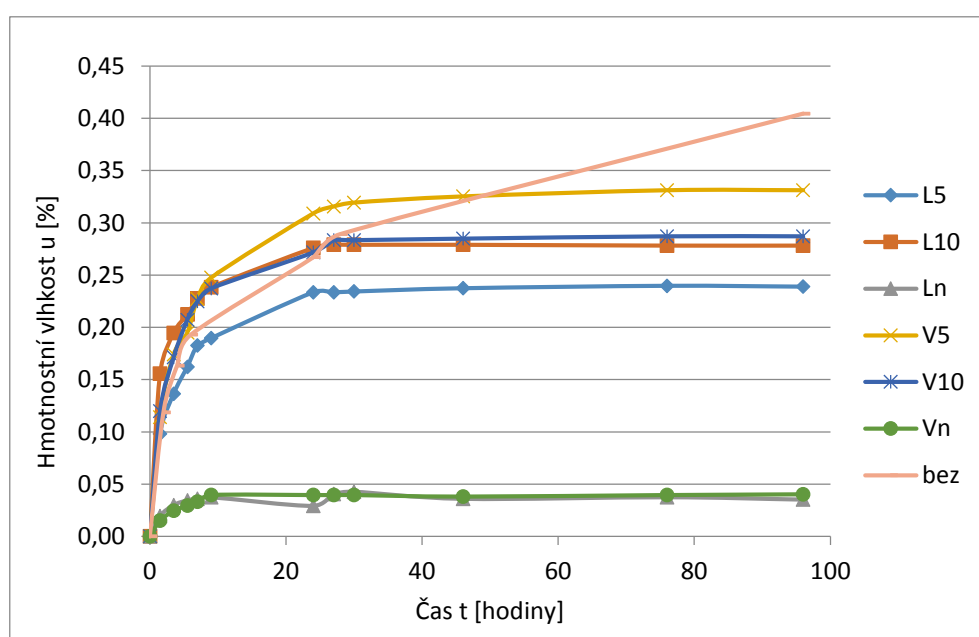
6.4.1 Monitorování v laboratorním prostředí (KP1)

Sada zkušebních vzorků se umístila do klimatické komory (viz. Obr. č. 31), která byla nastavena na vlhkost 30 % a teplotu 23 °C, což simuluje normou dané klimatické podmínky v laboratoři [1]. Z hlediska vlhkosti se klimatické prostředí (KP1) řadí mezi suché vnitřní prostředí (viz. Tabulka č. 8).



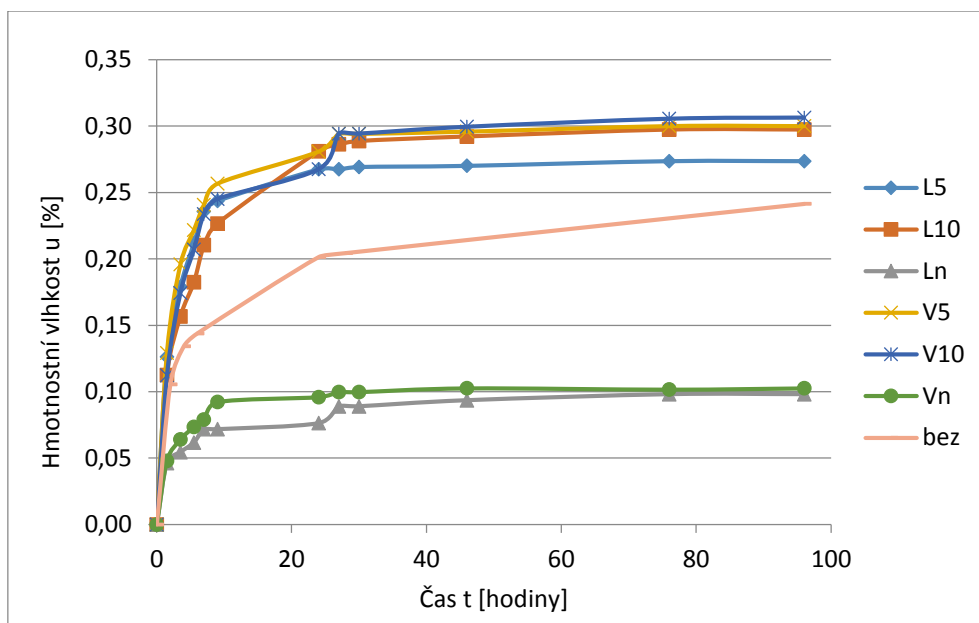
Obr. č. 31: Vzorky uložené v klimatické komoře [Autor J.Hapl]

Ze skupiny jemných omítek dosáhla nejvyšší hmotností vlhkosti záměs bez přísad (bez). Její vlhkostní nárůst je trochu odlišný (stále stoupající) na rozdíl od ostatních záměsů (viz. Graf č. 4), které svoji vlhkost po cca 25 hodinách vyrovnávají téměř do konstantní hodnoty. Z modifikovaných jemných omítek měla největší vlhkostní nárůst záměs s 5 % náhradou vodního skla v záměsové vodě (V5), dále záměsi s 10% náhradou vodním sklem (V10) a 10 % náhradou Lukofobem 39 (L10), jejichž nárůst vlhkosti i konečná vlhkost jsou přibližně stejné. Vůbec nejmenší hmotností vlhkosti byly naměřeny u vzorků opatřených nátěry Lukofobem 39 a vodním sklem (Ln, Vn), jejichž konečné vlhkosti byly až 10 krát menší než vlhkost dosažená u záměsi referenční (bez).



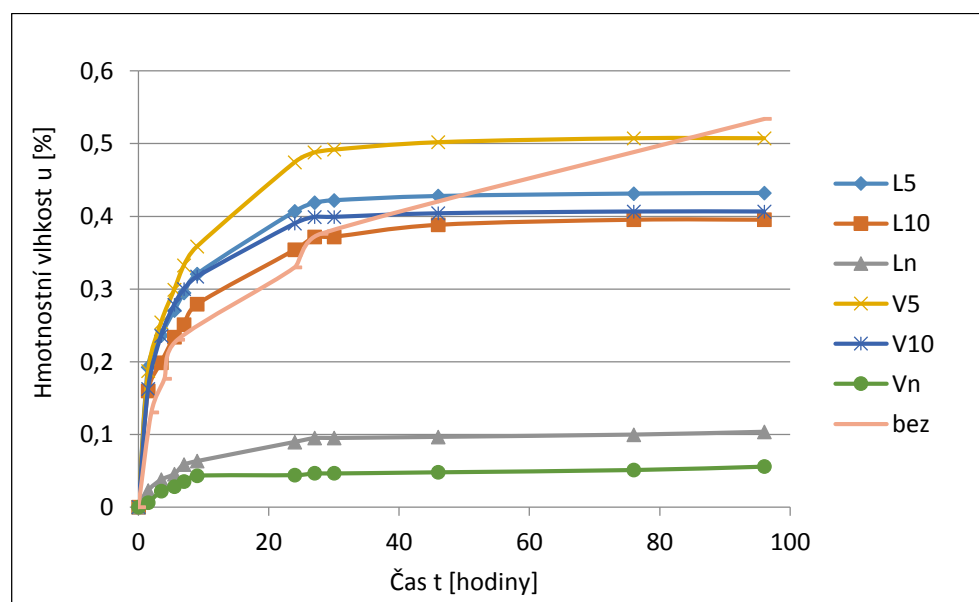
Graf č. 4: Vlhkost vzorků (J) při relativní vlhkosti 30 % a teplotě 23 °C

Největšího nárůstu vlhkosti u jemných dekorativní omítky (viz. Graf č. 5) bylo dosaženo u záměsi s 10 % náhradou záměsové vody vodním sklem (V10) společně se vzorky (V5) a (L10). Vzorky omítky referenční (bez) měly konečnou vlhkost výrazně nižší než (V10). Naprosto nejmenší vlhkosti byly naměřeny opět u nátěrů Lukofobu 39 (Ln) a vodního skla (Vn).



Graf č. 5: Vlhkost vzorků (JD) při relativní vlhkosti 30 % a teplotě 23 °C

Ze sady vzorků hrubé omítky s řezankou (viz. Graf č. 6) dosáhly největší vlhkosti vzorky bez modifikací (bez), jejichž vlhkovostní průběh měl v čase stále stoupající tendenci. Ze vzorků modifikovaných dosáhly největšího nárůstu vlhkosti vzorky s 5% náhradou záměsové vody vodním sklem (V5). Mezi nejméně absorbující vlhkost opět patřily vzorky s nátěry Lukofobu 39 a vodního skla, jejichž hmotnostní vlhkost u se pohybuje pod 0,1 %.



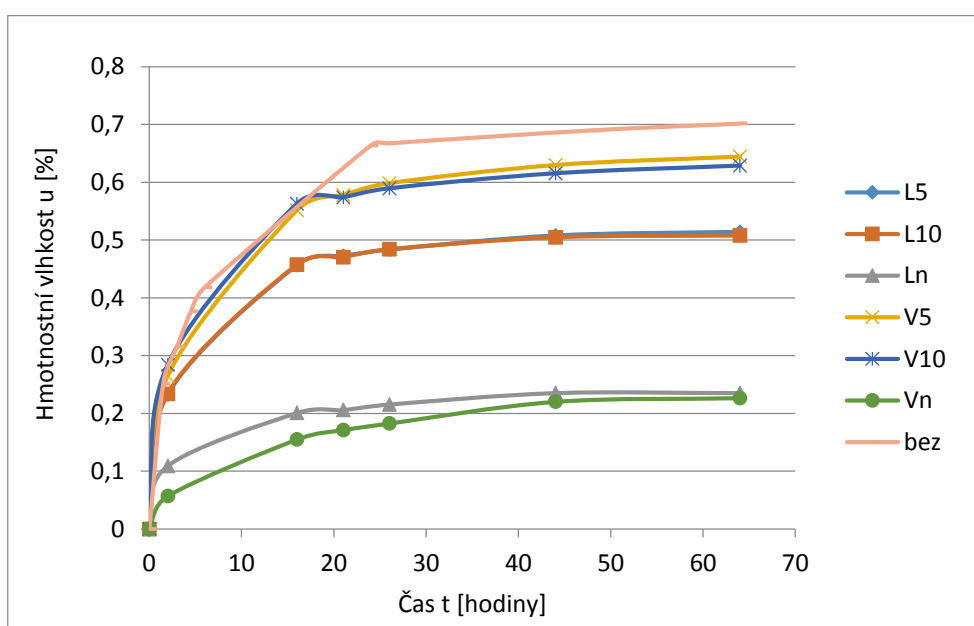
Graf č. 6: Vlhkost vzorků (HR) při relativní vlhkosti 30 % a teplotě 23 °C

Z grafů je patrné (Graf č. 4, 5, 6), že nejvyššího vlhkovostního nárůstu dochází v prvních cca 25 hodinách, po této době se vlhkost zvětšuje už jen nepatrně.

6.4.2 Monitorování v prostředí s vlhkostí 60 % a teplotou 20 °C (KP2)

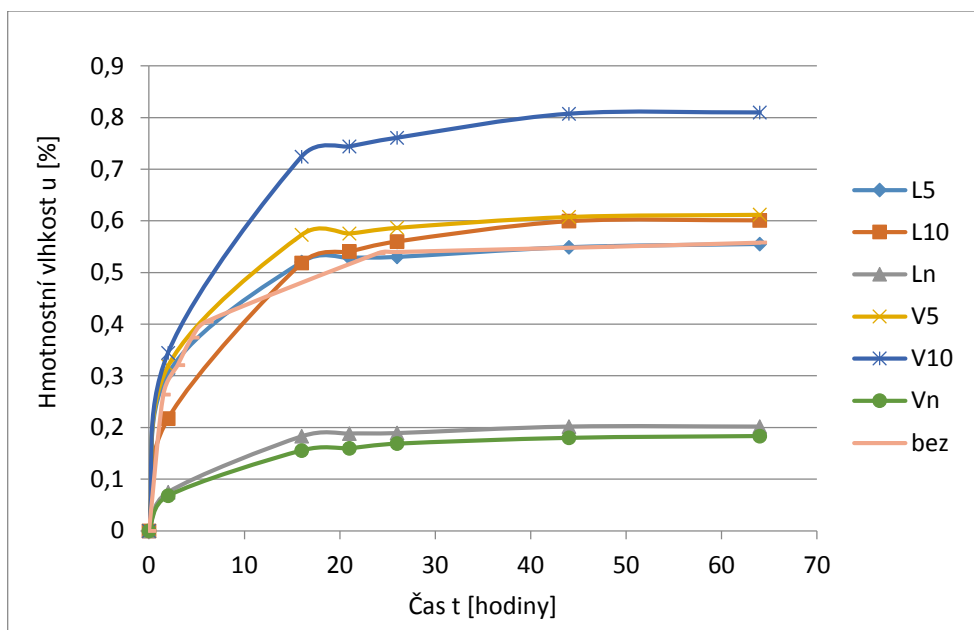
Zkoušené vzorky se měřily v klimatickém prostředí (KP2), které se dle normy ČSN P 730610 řadí mezi vnitřní prostředí s normální vlhkostí (viz. Tabulka č. 8). Toto prostředí s vlhkostí 60% a teplotou 20 °C bylo nastaveno v klimatické komoře, ve které zkoušené vzorky dosáhly konečných vlhkostí po 64 hodinách.

Největší vlhkosti sady jemné omítky vzorků dosáhly (viz. Graf č. 7) vzorky referenční (bez) a poté vzorky s náhradou 5 % a 10 % vodního skla (V5 a V10). Vzorky natřené vodním sklem a Lukofobem 39 vykazovaly výrazně nejnižší vlhkosti, která byla 3 krát nižší než nejvíce zvlhčené vzorky referenční (bez).



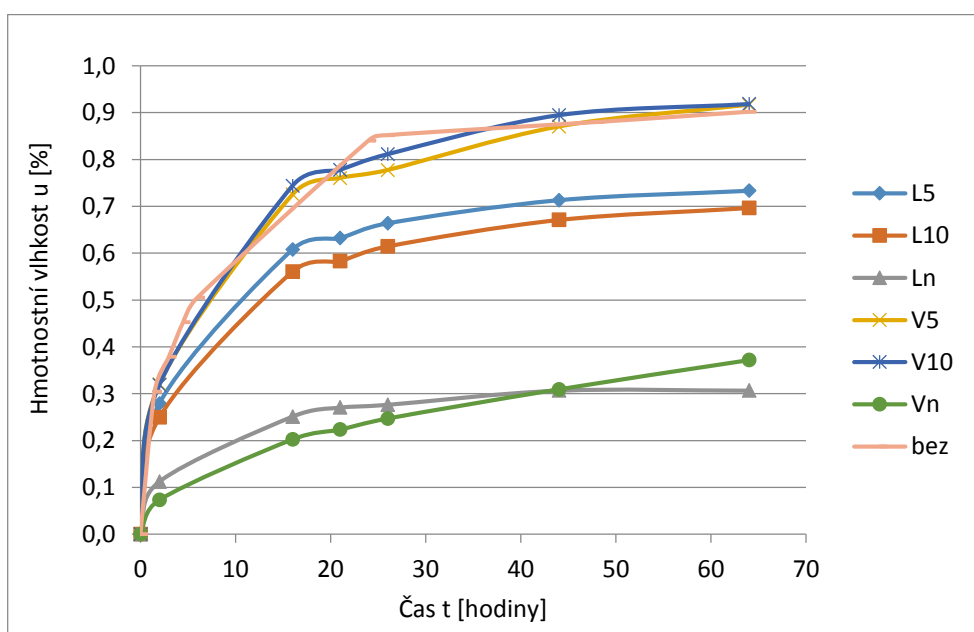
Graf č. 7: Vlhkost vzorků (J) při relativní vlhkosti 60 % a teplotě 20 °C

U sady vzorků jemné dekorativní omítky (viz. Graf č. 8) byla zaznamenána nejvyšší vlhkost u náhrady záměsové vody s 10 % vodního skla (V10), která výrazně převyšovala vlhkostní hodnoty ostatních vzorků. Nejmenší vlhkosti vykazovaly vzorky s nátěrem Lukofobu 39 a vodního skla, jejichž hmotnostní vlhkost nepřekročila hodnotu 0,2 %.



Graf č. 8: Vlhkost vzorků (JD) při relativní vlhkosti 60 % a teplotě 20 °C

Ze vzorků hrubé omítky (Graf č. 9) dosáhly nejvyšší vlhkosti záměsi vzorků s 10 % a 5 % náhradou vodního skla v záměsové vodě (V10, V5) a také vzorky referenčních omítek bez přísad (bez), pro něž se finální hmotnostní vlhkosti pohybovaly nad 0,9 %. Nižší hodnoty cca kolem 0,7 % vlhkosti byly naměřeny u vzorků s 10 % a 5 % náhradou Lukofobu (L10, L5). Nejnižších vlhkostí bylo dosaženo u nátěrů vodního skla a Lukofobu 39 (Vn a Ln), přičemž nátěr (Ln) vykazoval ještě o 0,08 % menší hmotnostní vlhkost než (Vn).

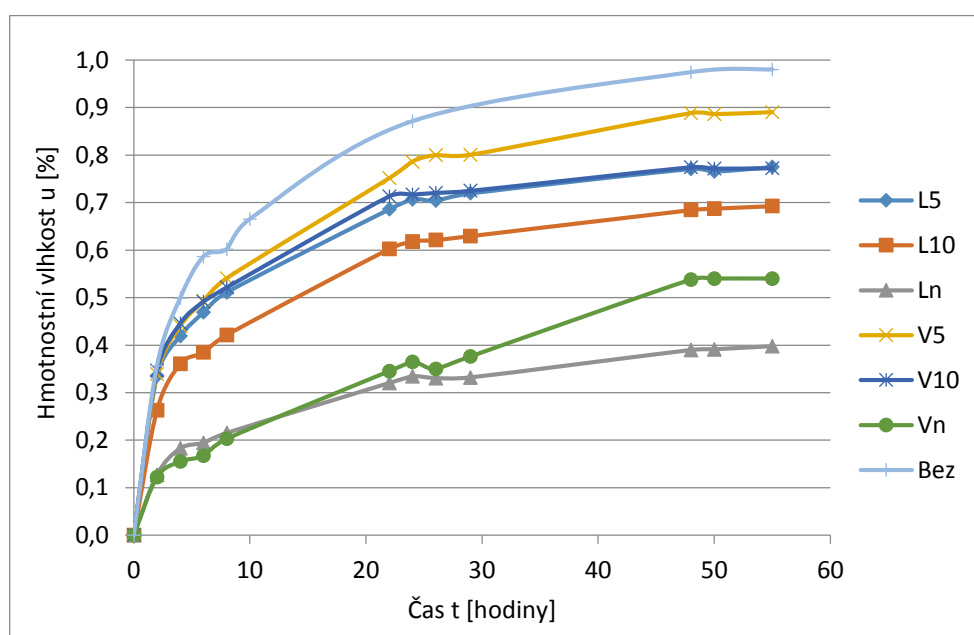


Graf č. 9: Vlhkost vzorků (HR) při relativní vlhkosti 60 % a teplotě 20 °C

6.4.3 Monitorování v prostředí s vlhkostí 80 % a teplotou 15 °C (KP3)

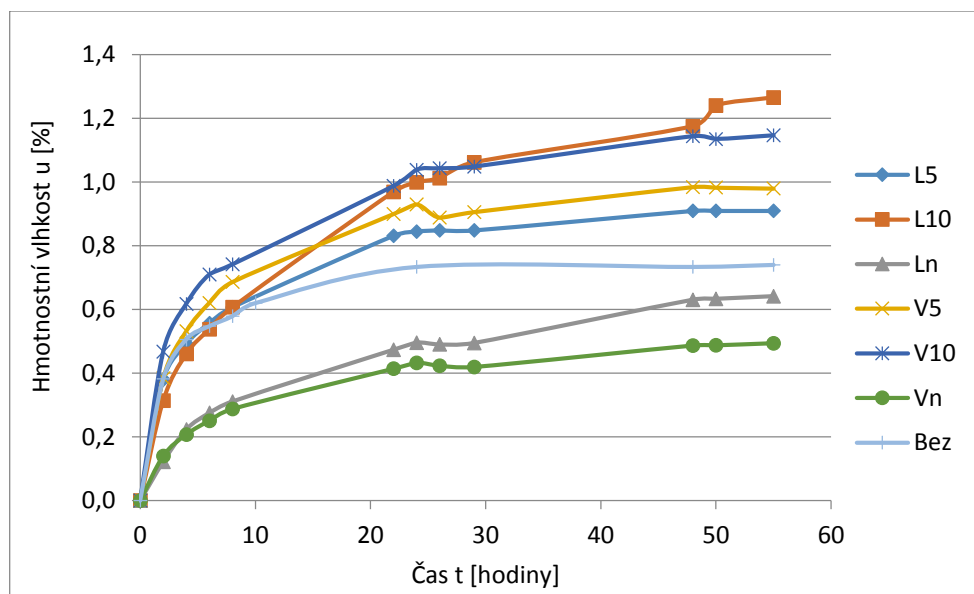
Další sada zkušebních trámeček byla také umístěna do klimatické komory, která se nastavila na relativní vlhkost vzduchu 80 % a teplotu 15 °C, což odpovídá mokrému vnitřnímu prostředí (viz. Tabulka č. 8). Zkoušené prostředí v tomto případě simuluje vnitřní prostředí nevytápěných prostor, například sklepy sousedící s vytápěnými místnostmi [1].

Největší vlhkosti ze sady jemný omítek (viz. Graf č. 10) zaznamenaly vzorky referenční (bez). Další v pořadí s největší hmotností vlhkostí byly vzorky V5, V10, L5, L10. Naopak nejnižší hmotností vlhkosti bylo dosaženo u vzorků s nátěrem Lukofobu 39 (Ln), které nedocílily ani poloviční vlhkosti v porovnání se vzorky referenčními (bez).



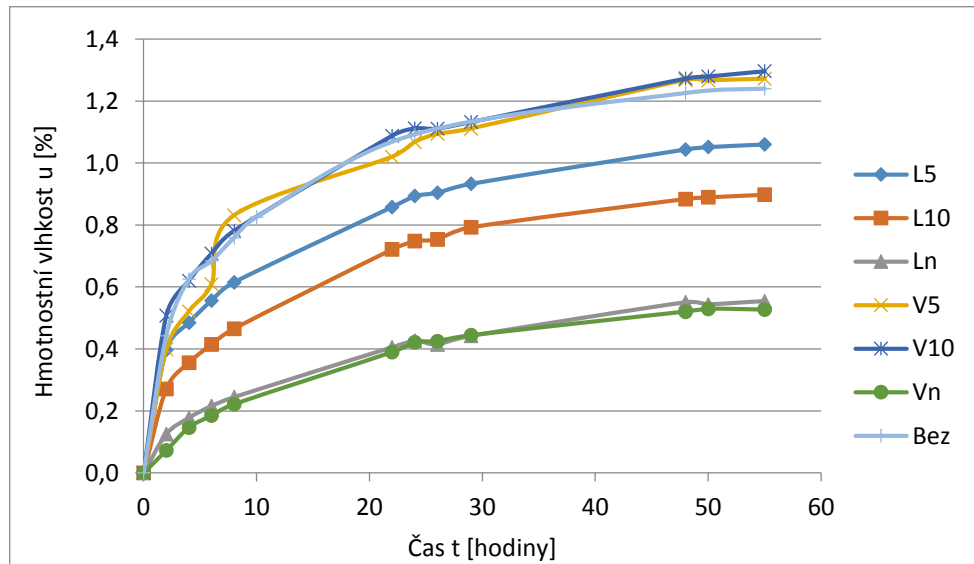
Graf č. 10: Vlhkost vzorků (J) při relativní vlhkosti 80 % a teplotě 15 °C

U sady vzorků jemné dekorativní omítky (viz. Graf č. 11) dosáhla největších vlhkostí záměs vzorků s 10 % náhradou Lukofobu 39 v záměsové vodě (L10), jejichž hmotnostní vlhkost se pohybovala kolem 1,2%. Z hlediska vlhkosti byly další v pořadí zaznamenány záměsi s 5% a 10% náhradou vodního skla (V10, V5) a teprve poté referenční vzorky (bez). Nejmenší hmotnostní vlhkosti byly naměřeny u vzorků s nátěry Lukofobu 39 (Ln) a vodního skla (Vn).



Graf č. 11: Vlhkost vzorků (JD) při relativní vlhkosti 80 % a teplotě 15 °C

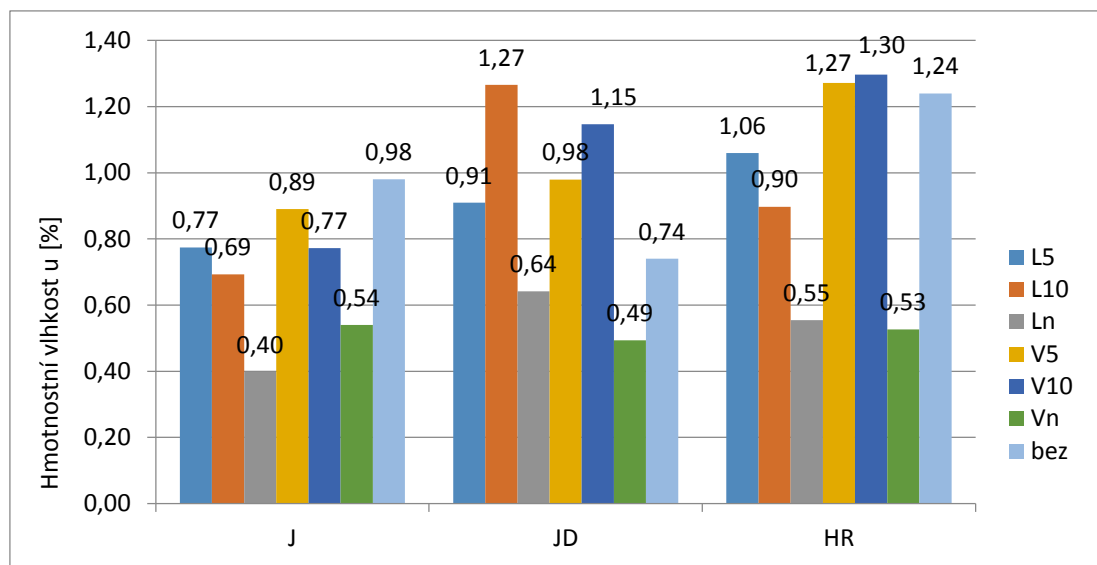
Největší hmotnostní vlhkosti vzorků hrubé omítky (viz. Graf č. 12) byly zaznamenány u záměsí modifikovaných vodním sklem (V10 a V5) a referenční záměsí hrubé omítky, u jejichž vzorků se vlhkost pohybovala nad 1,2%. Nejnižší vlhkosti byly zaznamenány opět u natřených vzorků vodním sklem (Vn) a Lukofobem 39 (Ln).



Graf č. 12: Vlhkost vzorků (HR) při relativní vlhkosti 80 % a teplotě 15 °C

Z níže zobrazeného grafu lze vyčíst (viz. Graf č. 13), že v mokré vnitřním prostředí největších vlhkostí dosáhla sada vzorků hrubé omítky (HR). Z této sady zaznamenaly největší hmotnostní vlhkost záměsí vzorků s vodním sklem (V10 a V5), jejichž vlhkost se pohybovala kolem 1,3% a byla tudíž vyšší než vlhkost u referenčních vzorků (bez). Druhým typem omítky s největší vlhkostí byla zaznamenána u sady vzorků jemné dekorativní omítky (JD),

u které přijímaly největší vlhkost vzorky L10 a dále záměsi vzorků V10, V5 a L5, u kterých byla dosažena větší vlhkost než u vzorků referenčních (bez). Nejmenší hmotností vlhkosti, co se týče druhu omítky, byly naměřeny u sady vzorků jemné omítky (J), u kterých byla hmotnostní vlhkost vzorků modifikovaných výrazně nižší než vlhkost referenčních vzorků (bez).



Graf č. 13: Maximální dosažená vlhkost vzorků při vlhkosti vzduchu 80% a teplotě 15°C

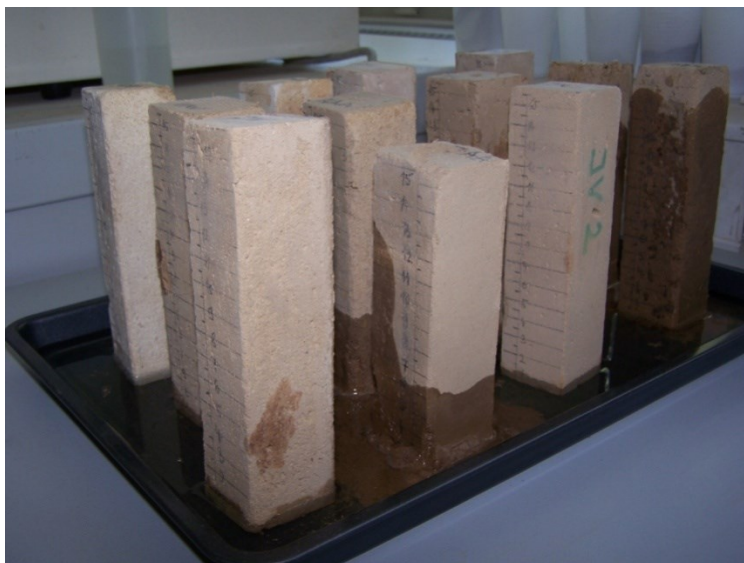
6.5 Stanovení vztlínivosti hliněných těles

Toto zkoušení se zpravidla provádí u vypálených keramických výrobků, které mají velmi podobné vlastnosti jako nepálené hliněné výrobky v našem případě hliněné omítky. Zkouška se prováděla na předem připravených zkušebních trámečcích s rozměry 40 x 40 x 160 mm. Na povrch delší strany zkoušených vzorků se vyznačila stupnice po 0,5 cm, aby se rychlost vztlínání snadněji zaznamenávala (viz. Obr. č. 32).



Obr. č. 32: Zkoušené trámečky s vyznačenou stupnicí po 0,5 cm [Autor J.Hapl]

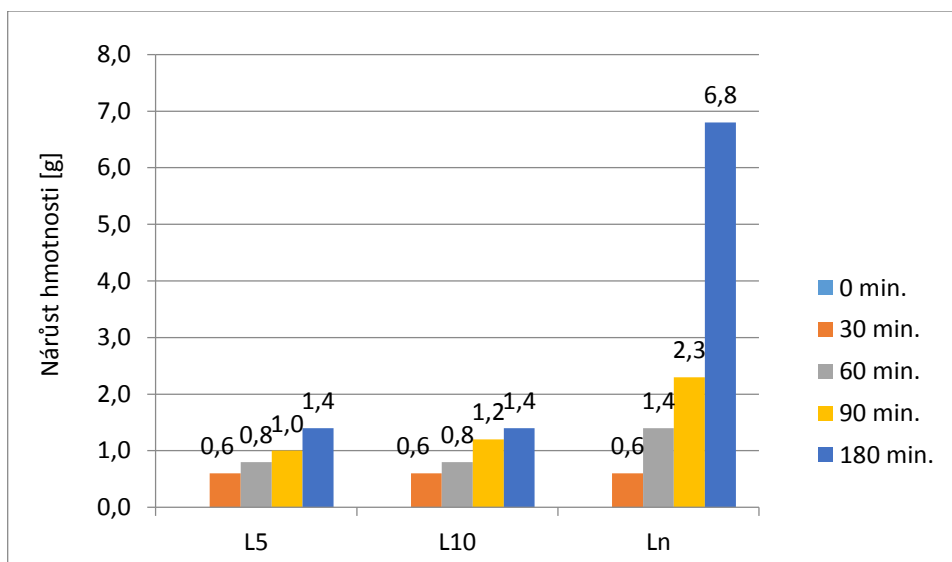
Označené trámečky se vložily do nádoby s výškou hladiny cca 1 cm (viz. Obr. č. 33), která se po celou dobu zkoušení udržovala na této konstantní hodnotě.



Obr. č. 33: Hliněné trámečky zkoušené na vztlínavost [Autor J.Hapl]

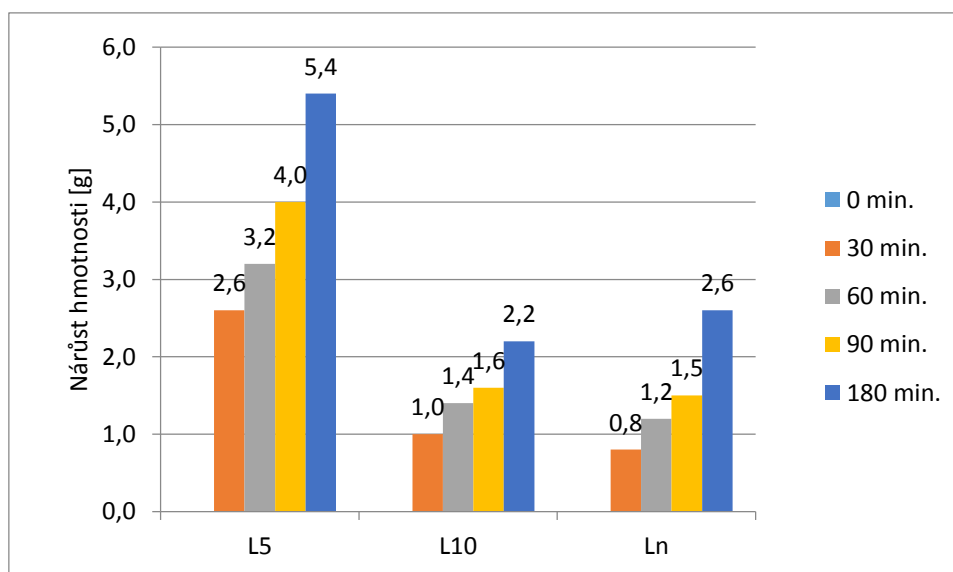
Výška vztlínání se měřila po 5 minutách. Po první hodině měření se vztlínání značně zpomalilo, proto se dále prováděl záznam v delších časových úsecích (viz. Příloha č. 7). Vzorky, u kterých nedocházelo k vyplavování částic, byly ještě navíc váženy (viz. Příloha č. 8). Výsledkem se stává graf, který vyjadřuje závislost výšky vztlínání na čase. Výška vztlínání se zaznamenává s přesností 1 mm. V případě nezřetelné výšky vztlínání, lze vztlínavost vyjádřit grafem závislosti nárůstu hmotnosti v čase, s přesností vážení na 0,1g (viz. Graf č. 14, 15, 16).

Tento způsob interpretace výsledků byl použit i pro vzorky ošetřené přípravkem Lukofob 39. Největšího hmotnostního nárůstu vzorků sady ze sady jemné omítky modifikované Lukofobem 39 (viz. Graf č. 14) bylo dosaženo u vzorků s nátěrem Ln. U vzorků L5 a L10 je viditelný výrazně nižší avšak patrný lineární vzestup hmotnosti v čase.



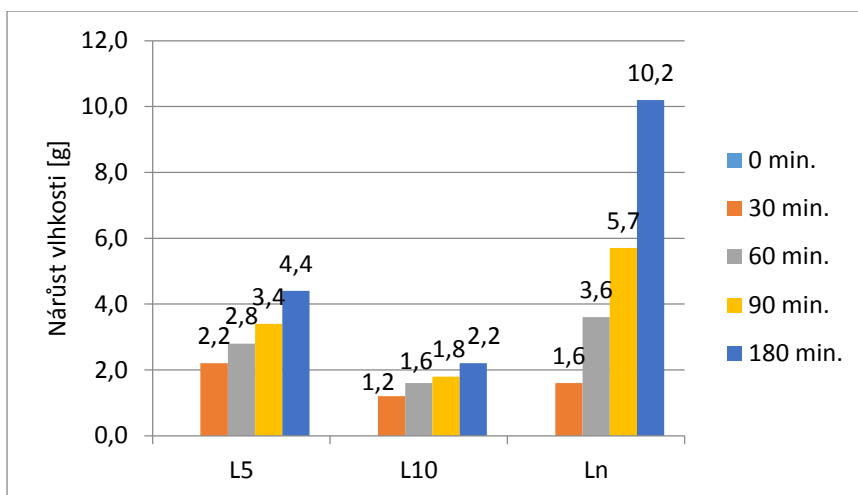
Graf č. 14: Hmotnostní nárůst vzorků jemné omítky ošetřené Lukofobem 39

U vzorků sady jemné dekorativní omítky modifikované Lukofobem 39 (viz. Graf č. 15) bylo největšího hmotnostního nárůstu dosaženo u záměsi vzorků L5, které vykazovaly výrazně vyšší nárůst hmotnosti než zbylé dvě Lukofobem upravené záměsi L10 a Ln.



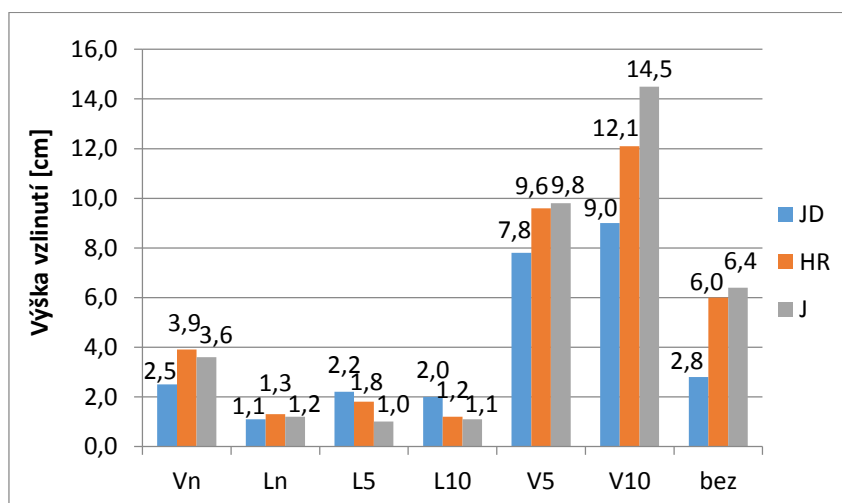
Graf č. 15: Hmotnostní nárůst vzorků jemné dekorativní omítky ošetřené Lukofobem 39

U sady vzorků hrubé omítky modifikované Lukofobem 39 (viz. Graf č. 16) byl zaznamenán největší nárůst vlhkosti u vzorků s nátěrem Ln, méně než polovičních hmotností dosáhly vzorky L5 a úplně nejmenší, ale stále pozorovatelný nárůst hmotnosti byl naměřen u vzorků L10.



Graf č. 16: Hmotnostní nárůst vzorků hrubé omítky ošetřené Lukofobem 39

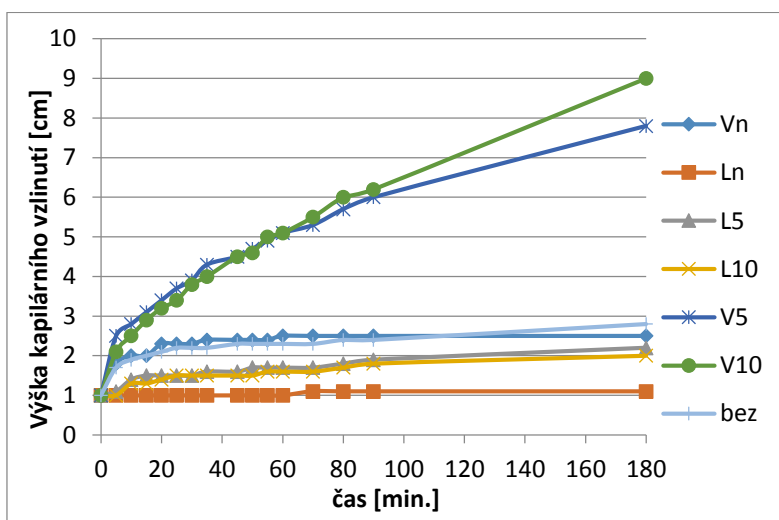
Z průběžného měření se u takto ponořených hliněných vzorků ve vodě zjistilo, které vzorky brání kapilárnímu vztlínání, a které naopak tuto hodnotu zvyšují. Vzorky byly v nádobě s vodou celých 180 minut. Po této době se již některé trámečky začaly deformovat, zejména pak hliněné omítky referenční, u kterých se deformace nejvíce projevily v případě hrubé a jemné omítky. Z výsledných grafů lze primárně zjistit, že největšího vztlínání je dosaženo u záměsí s vodním sklem a to hlavně u vzorků, které jsou modifikovány formou 10% a 5% náhrady záměsové vody vodním sklem (viz. Graf č. 17). Pouze tyto dvě záměsí měly větší vztlínavost než základní zkušební omítky referenční.



Graf č. 17: Maximální dosažená výška vzlinuté vody po 180 minutách

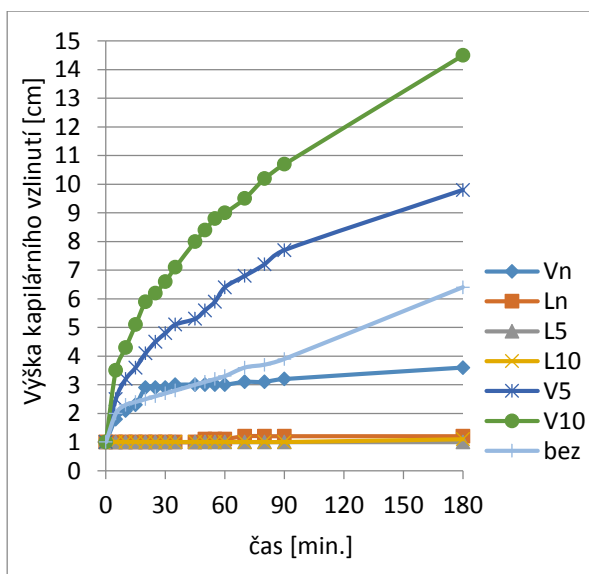
Podle typu omítky bylo dosaženo nejvyšší kapilární vztlínavosti u jemné omítky (J), druhou nejvíce absorbující omítkou byla hrubá omítky (HR) a nejmenší vztlínání bylo naměřeno u jemné dekorativní omítky (JD). Toto pořadí však platí pouze u omítek referenčních (bez) a u omítek s náhradou 5% a 10% vodního skla v záměsové vodě (V5 a V10). Z grafů

znázorňujících časový průběh vzlínání, vidíme (viz. Graf č. 18, 19, 20), že jednotlivé typy hliněných omítek dosahují odlišných hodnot výšky vzlinutí, ale mají přibližně stejný průběh. Na tomto základě lze opětovně konstatovat, že u zkoušených jemných dekorativních omítek vykazují největší vzlínavost (viz. Graf č. 18) hliněné omítky s náhradou 10% a 5% vodního skla (V5 a V10) v záměsové vodě, jejichž výška vzlinutí se zvyšuje lineárně s časem. Další v pořadí jsou omítky referenční (bez) a vzorky s nátěrem vodního skla (Vn). Nejnižšího vzlínání bylo dosaženo u modifikací prostředkem Lukofob 39. U těchto vzorků nebylo vzlínání téměř patrné.

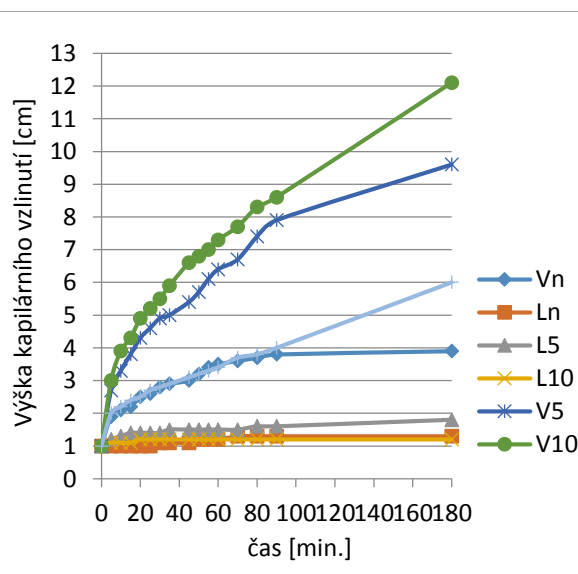


Graf č. 18: Vzlinavost jemné dekorativní omítky (JD) v čase

Vzorky jemné a hrubé omítky mají stejný průběh vzlínání (viz. Graf č. 19, 20), liší se pouze v maximální dosažené výšce vzlinutí, která je u jemné omítky přibližně o 2 cm větší.



Graf č. 19: Vzlinavost hrubé omítky (J) v čase



Graf č. 20: Vzlinavost jemné omítky (HR) v čase

6.6 Stanovení koeficientu kapilární absorpce

Zkouška je odvozená z normové zkoušky ČSN EN 1015- 18 pro stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě [10].

V tomto případě se připraví zkušební trámečky o rozměrech 40x40x160 mm (viz. kapitola 6.3.3). Hrany zkušebních trámečků se opatří hydrofobní nátěrem na bázi epoxidové pryskyřice, v našem případě dvousložkovým nátěrem epoxidovou pryskyřicí Epoxy 1200, ředitelným v hmotnostním poměru 100 : 6,5 (viz. Obr. č. 34). Natřené trámečky se rozlomí na dvě stejné poloviny. Jelikož se zkouška provádí na hliněných trámečcích, které nejsou tak pevné jako například cementové, byly proto zkušební tělesa místo rozlomení rozřezány na dvě přibližně stejné části. Rozřezáním se docílilo částečně rovné plochy podstavy (viz. Obr. č. 35).



Obr. č. 34: Zkušební trámečky natřené epoxidovou pryskyřicí Epoxy 1200 [Autor J.Hapl]



Obr. č. 35: Rozřezané trámečky na dvě stejně vysoké tělesa [Autor J.Hapl]

Rozřezané trámečky se nejprve vloží do sušárny, kde se při konstantní teplotě 60 °C suší do rovnovážné hmotnosti. Rovnovážné hmotnosti zkušebního tělesa je dosaženo, nemění-li se hmotnost po 24 hodinách o více než 0,2% celkové hmotnosti.

Jednotlivé zkoušené vzorky se umístí rozřezanou plochou směrem dolů do nádoby s výškou hladiny destilované vody cca 10 mm (viz. Obr. č. 32), přičemž mezi dno a zkušební vzorky se umístí podložky z filtračního papíru. Zkoušená tělesa se do vody vkládají pod šikmým úhlem, aby na podstavné ploše nezůstaly vzduchové bubliny a byl tak zajištěn dokonalý styk řezné plochy tělesa s vodou.

Současně s ponořením vzorků se zapnou stopky a měří se čas. Vzorky se po 10 minutách vytáhnou, rychle osuší vlhkou tkaninou, zváží se hmotnost (m_1) a opět se vrátí do nádoby s vodou. Stejný postup se provede po 90 minutách (m_2). Po celou dobu zkoušení se musí udržovat konstantní výška hladiny vody.

Výpočet **koeficientu kapilární absorpce vody (C)** probíhá podle vztahu (7) [10]:

$$C = 0,1 \cdot (m_1 - m_2) \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})] \quad (7)$$

,kde m_1 ...hmotnost vzorku nasáklého v destilované vodě po dobu 10 minut [g];

m_2 ... hmotnost vzorku nasáklého v destilované vodě po dobu 90 minut [g];

Jednotlivé výsledky hodnot kapilární absorpce vzorků se zaokrouhlí na 0,05 kg/(m².min^{0,5}) a následně se z nich vypočítá průměr. Výsledná hodnota kapilární absorpce se zaokrouhlí s přesností na 0,1 kg/(m².min^{0,5}).

Výsledkem zkoušky je zařazení omítkových malt do kategorie podle normy ČSN EN 998 -1 [1]. Z dosažených výsledků lze říci, že zkoušené malty bylo možné zařadit do kategorie W2 (viz. Tabulka č. 15) jen u 5 % a 10 % náhrady záměsové vody Lukofobem 39 (L5, L10) a to pro všechny zkoušené druhy omítek (J, JD, HR). V ostatních případech se omítky nepodařilo dle normy zařadit.

Tabulka č. 15: Výsledné hodnoty kapilární absorpce vody C [kg/(m².min^{0,5})]

Typ hliněné omítky	Modifikační přísada	Koeficient kapilární absorpce			Kategorie zařazení dle normy
		C ₁	C ₂	C	
		[kg/(m ² .min ^{0,5})]	[kg/(m ² .min ^{0,5})]	[kg/(m ² .min ^{0,5})]	
JD	L5	0,120	0,120	0,12	W2
	L10	0,040	0,020	0,03	W2
	V5	1,420	1,100	1,26	-
	V10	1,280	1,440	1,36	-
	bez	0,200	0,160	0,18	W2
HR	L5	0,100	0,120	0,11	W2
	L10	0,020	0,020	0,02	W2
	V5	1,380	1,460	1,42	-
	V10	1,780	1,900	1,84	-
	bez	0,470	0,480	0,48	-
J	L5	0,020	0,020	0,02	W2
	L10	0,020	0,000	0,01	W2
	V5	1,600	1,460	1,53	-
	V10	1,400	1,140	1,27	-
	bez	0,480	0,580	0,53	-

6.7 Hodnocení odolnosti vůči vodě

Účelem toho zkoušení bylo experimentálně určit, jak zkoušené malty odolávají účinkům vody. Nejdříve byly trámečky zkoušených omítek umístěny do kádě se stojící vodou (viz. Obr. č. 36), aby se zjistilo, které záměsi zkušebních malt odolávají alespoň částečně vodě.



Obr. č. 36: Zkušební trámečky ponořené do vody na 46 hodin [Autor J.Hapl]

Ve stojaté vodě byly vzorky zkušebních malt uloženy celých 46 hodin. Po této době se provedlo zhodnocení. Trámečky, u kterých nedošlo k rozplavení nebo porušení byly opatrně vytaženy z vody a vysušeny při laboratorních prostorách (viz. Obr. č. 37). Konkrétně se jednalo o vzorky všech tří modifikovaných omítek (J, JD i HR) s 5 % a 10 % náhradou Lukofobu 39 v záměsové vodě (L5, L10), jejichž vzorky nevykazovaly vůbec žádné známky poškození. Dále se zachovaly vzorky jemné dekorativní omítky s modifikací 10 % náhradou vodního skla v záměsové vodě (V10) a trámeček natřený přípravkem Lukofob 39 (Ln). Tento zkušební trámeček působením vody poměrně hodně nabobtnal, ale jeho struktura stále držela pohromadě. Další vzorky, které se podařilo bez porušení vytáhnout z vody, byly vzorky jemné a hrubé omítky (J, HR), jejichž povrch byl ošetřen nátěrem Lukofobu 39 (Ln). U těchto vzorků však během vysoušení došlo z důvodu velkých deformací ke vzniku trhlin.



Obr. č. 37: Vzorky zkušebních omítek, které odolaly stojaté vodě [Autor J.Hapl]

6.8 Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlých malt

Zkouška objemové hmotnosti zatvrdlých malt se provádí na hliněných trámečcích (viz. kapitola 6.3.3), které se po vysušení na konstantní hmotnost (m_0) zváží s přesností na 0,1g. Poté se pomocí posuvného měřidla s přesností 0,1 mm změří rozměry trámečku, ze kterých se vypočítá jeho objem.

Výsledná objemová hmotnost (ρ_s) hliněného trámečku se pak vypočítá jako podíl jeho hmotnosti k objemu s přesností na desítky [kg/m^3]:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} = \frac{m_0}{V_0} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3)$$

,kde: m_s (m_0) ... hmotnost vysušeného vzorku [kg];

V_s ...objem vysušeného vzorku [m^3], $V_s = 256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ (objem formy na trámečky).

Největších objemových hmotností ztvrdlých malt (viz. Graf č. 21) dosáhly vzorky sady jemné omítky (J), jejichž největší objemová hmotnost $\rho_0 = 1820 \text{ kg/m}^3$ byla naměřena u vzorků referenčních (bez) a naopak nejmenší hodnoty $\rho_0 = 1720 \text{ kg/m}^3$ byly zaznamenány u vzorků modifikovaných L10. Další v pořadí byly objemové hmotnosti sady hrubé omítky (HR), u kterých byla také nejvyšší objemová hmotnost $\rho_0 = 1740 \text{ kg/m}^3$ u referenčních vzorů a nejmenší hodnoty $\rho_0 = 1610 \text{ kg/m}^3$ byly naměřeny u vzorků V10. Vzorky sady jemné dekorativní omítky (JD) vykazovaly nejnižší objemové hmotnosti ztvrdlých malt, které se pohybovaly v rozmezí $\rho_0 = (1350 \text{ až } 1610) \text{ kg/m}^3$.



Graf č. 21: Objemová hmotnost zkoušených ztvrdlých malt

6.9 Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku

Pevnosti zatvrdlých malt se zkouší podle normy ČSN EN 1015-11. Veškeré podrobnosti a změny od normových postupů jsou popsány níže.

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu se provádí na hliněných trámečkách (viz. kapitola 6.3.3). Po zkoušce ohybem jsou trámečky rozpuřeny na dvě části (viz. Obr. č. 38), které se dále využijí ke zkoušce pevnosti v tlaku (viz. Obr. č. 39). Rychlost zatěžování laboratorního lisu je zvolena podle kategorie zatížení CSII, která je určena předpokládanou pevností hliněných trámečků, pro pevnost v tlaku je rychlost stlačení 100 N/s a pro pevnost v tahu za ohybu to je 25 N/s [8]. Výsledné pevnosti zkoušených malt se měřily na vzorcích, které byly umístěny ve zkoušených klimatických prostředích viz. Tabulka č. 14.

Pevnost v tahu za ohybu (R_f) se vypočte podle následujícího vztahu (8):

$$R_f = \frac{3 \cdot F_f \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (8)$$

,kde F_f ... zatěžující síla v tahu za ohybu [N];

l ... vzdálenost mezi podporami $l = 100\text{mm}$;

b ... šířka trámečku [mm];

h ... výška trámečku [mm].

Výsledná pevnost v tlaku (R_c) se určí ze vztahu (9):

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (9)$$

,kde F_c ... zatěžující síla v tlaku [N];

A ... zatěžující plocha vzorku [mm^2].



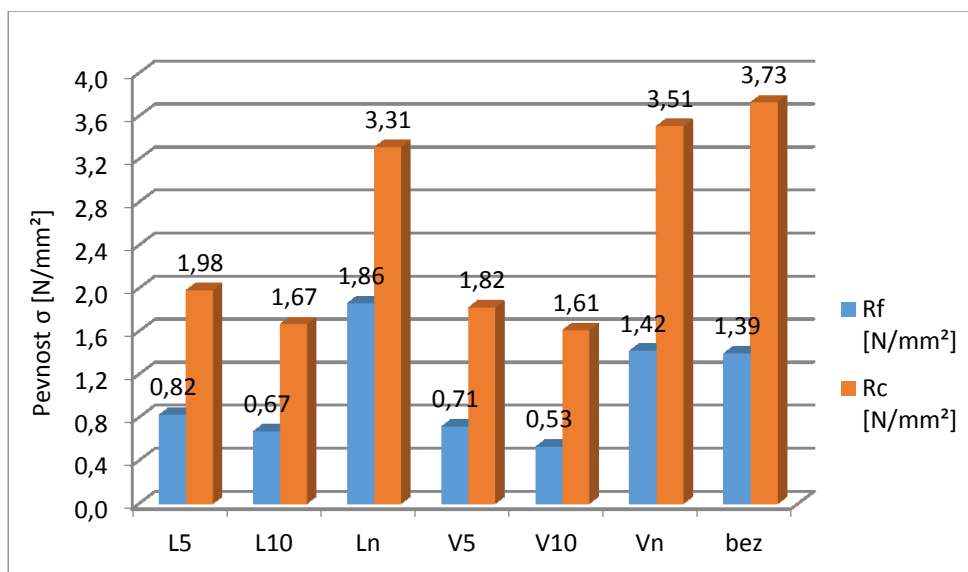
*Obr. č. 38: Zkouška pevnosti v tahu za ohybu
[Autor J.Hapl]*



*Obr. č. 39: Zkouška pevnosti
v tlaku [Autor J.Hapl]*

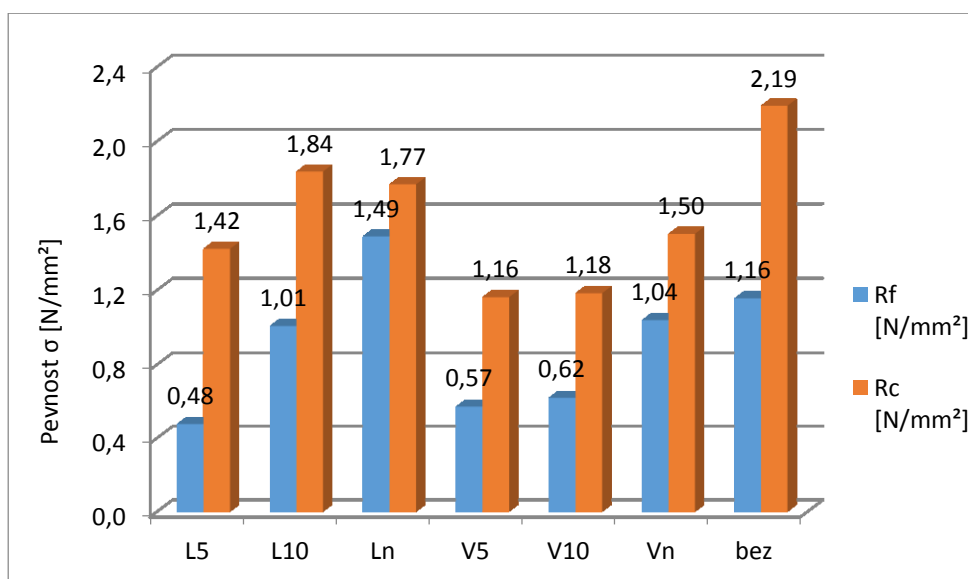
Pevnosti měřené při relativní vlhkosti vzduchu 30 % a teplotě 23 °C

U sady vzorků jemné omítky (viz. Graf č. 22) bylo nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu dosaženo u vzorků s nátěrem Lukofobu 39 (Ln), dále u vzorků Vn a referenčních vzorků (bez). Nejmenší pevnosti v tahu za ohybu (R_f) vykazovaly vzorky s náhradou záměsové vody 10 % vodním sklem (V10), jejichž pevnost (R_f) byla až 3 krát menší než u vzorků Ln. Největší pevnosti v tlaku byly naměřeny u referenčních vzorků (bez) a dále u vzorků opatřených nátěrem vodního skla (Vn) a Lukofobu 39 (Ln). Nejmenší pevnosti v tlaku (R_c) se zaznamenaly u vzorků V10 a L10, které byly více než 2 krát menší než u vzorků referenčních (bez).



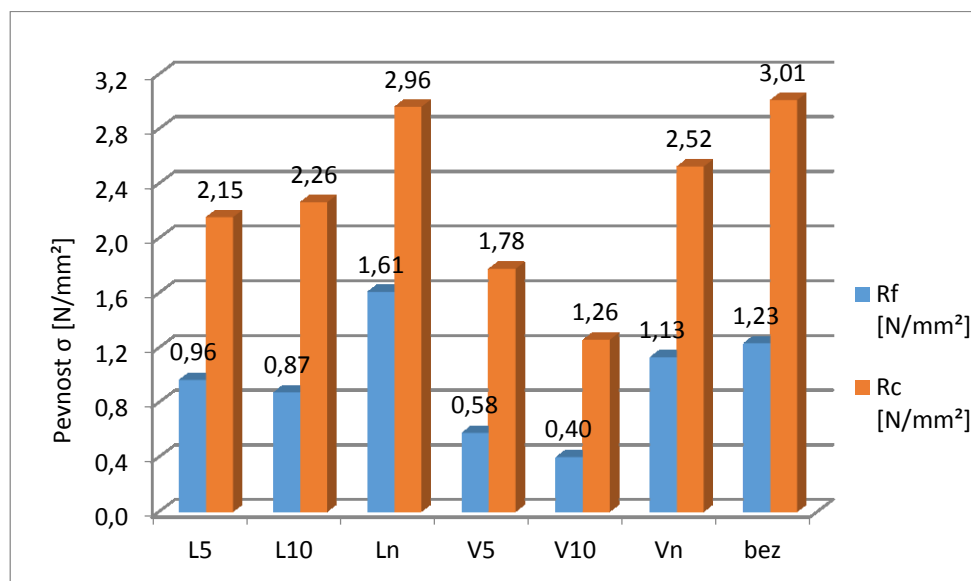
Graf č. 22: Pevnosti vzorků jemné omítky (J) v suchém vnitřním prostředí

U sady vzorků jemné dekorativní omítky (viz. Graf č. 23) byla největší pevnost v tlaku zaznamenána u vzorků opatřených nátěrem Lukofobu 39 (Ln), jejichž pevnosti (R_f) se lišila jen o 0,2 MPa od pevnosti v tlaku, což značí i menší riziko tvorby trhlin při jejích deformacích. Další nejvyšší pevnosti v tahu (R_f) byly naměřeny u vzorků záměsi referenční (bez), Vn a L10. Nejnížší pevnosti v tahu za ohybu byly dosaženy u modifikovaných záměsí L5 a V5. Vysoká pevnost v tlaku (R_c) byla také u referenčních vzorků, jejichž pevnost (R_c) byla podstatně vyšší než u ostatních vzorků této sady (mimo Ln). Vzorky V5 a V10 zaznamenaly pevnost v tlaku nejnižší.



Graf č. 23: Pevnosti vzorků jemné dekorativní omítky (JD) v suchém vnitřním prostředí

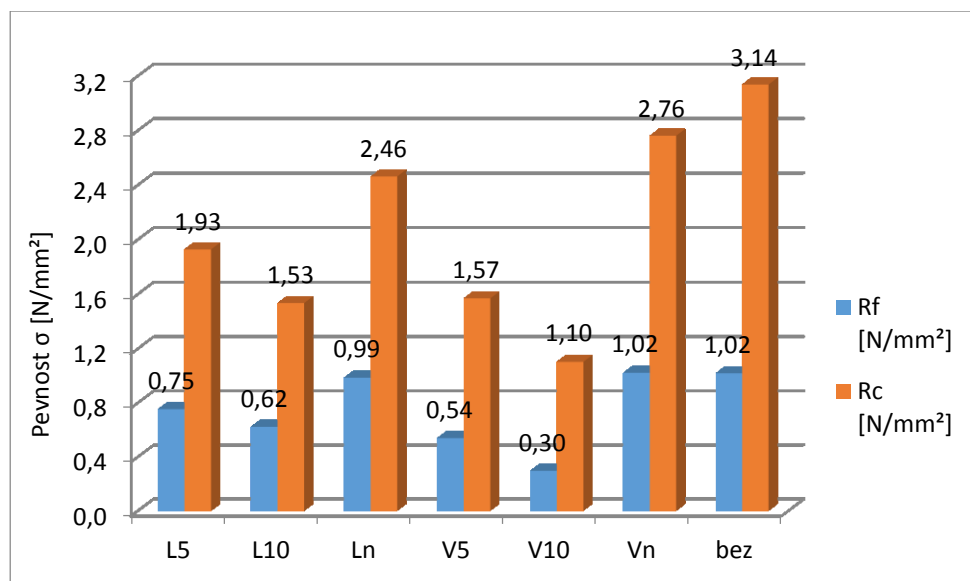
U sady vzorků hrubé omítky (viz. Graf č. 24) byly výrazně nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu dosaženy u vzorků s nátěrem Lukofobem 39 (Ln), jejichž pevnost $R_f = 1,61 \text{ MPa}$. Další hodnoty pevnosti v tahu u záměsí (Vn, bez, L5 a L10) byly poměrně vyrovnané a jejich pevnosti (R_f) se pohybovaly okolo 1,0 MPa. Nejnížší pevnosti v tahu byly zaznamenány u vzorků V5 a V10, které měly až 4 krát nižší pevnost v tahu než vzorky Ln. Nejvyšší pevnost v tlaku $R_c = 3 \text{ MPa}$, byla dosažena u vzorků referenčních (bez) i vzorků natřených Lukofobem 39 (Ln), ostatní záměsí vykazovaly výrazně nižší pevnosti v tlaku.



Graf č. 24: Pevnosti vzorků hrubé omítky (HR) v suchém vnitřním prostředí

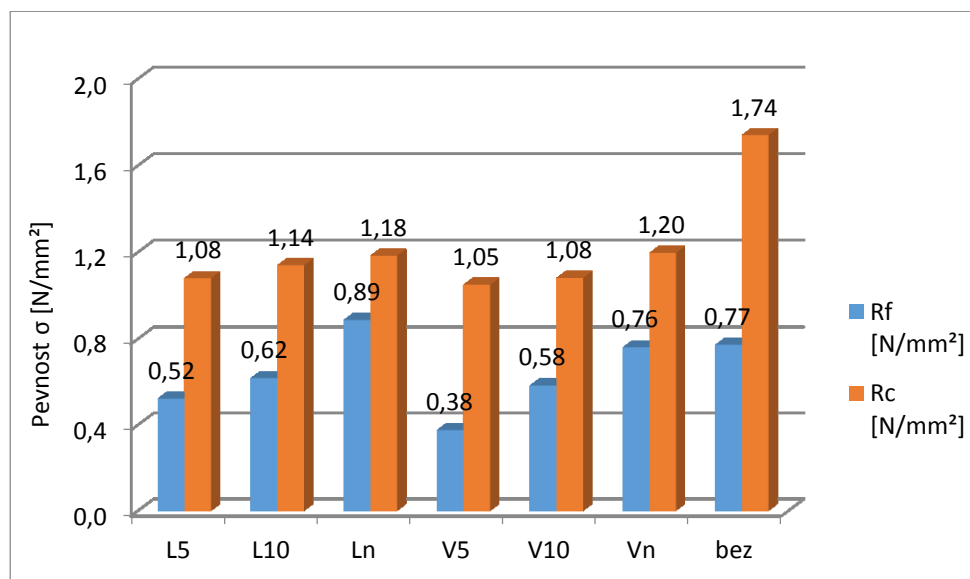
Pevnosti měřené při relativní vlhkosti vzduchu 60 % a teplotě 20 °C

Sada vzorků jemné omítky (viz. Graf č. 25) vykazovaly největší pevnosti v tahu za ohybu vzorky s nátěrem vodního skla a Lukofobem 39 (Ln) a vzorky referenční (bez). U všech třech typů vzorků se pevnost (R_f) pohybovala kolem 1,0 MPa. Naopak nejnížší pevnosti v ohybu byly zaznamenány u vzorků s náhradou 10 % a 5 % vodního skla v záměsové vodě (V10 a V5). Nejvyšší pevnosti v tlaku byly naměřeny na referenčních vzorcích (bez), další v pořadí byly vzorky s nátěry vodního skla (Vn) a Lukofobem 39 (Ln). Vzorky V10 vykazovaly opět nejnížší pevnost (R_c).



Graf č. 25: Pevnosti vzorků jemné omítky (J) ve vlhkostně normálním prostředí

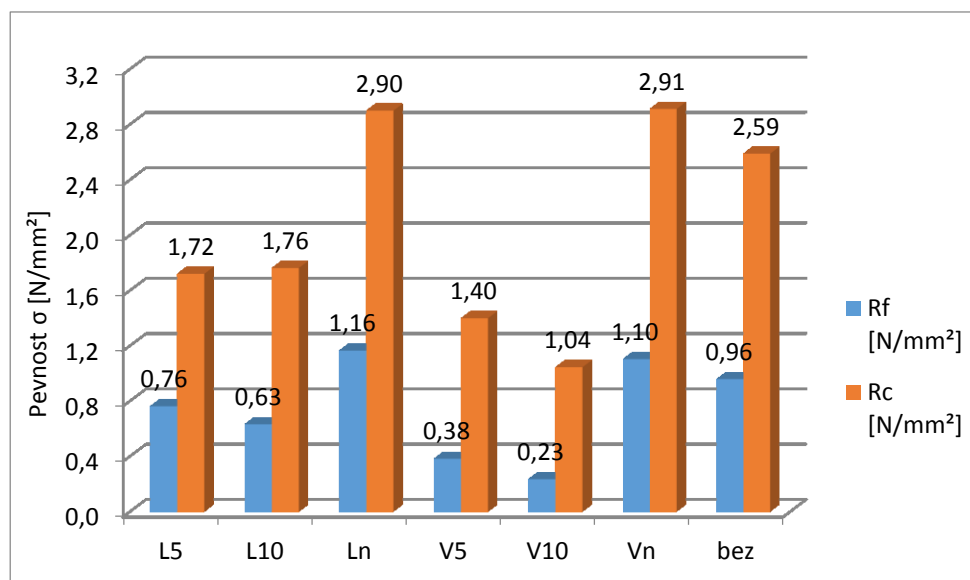
U sady vzorků jemné dekorativní omítky (viz. Graf č. 26) byly největší pevnosti v tahu za ohybu dosaženy u vzorků s nátěrem Lukofobu 39 (Ln), další v pořadí byly vzorky s nátěrem vodního skla (Vn) a referenční vzorky (bez), které dosáhly přibližně o jednu desetinu MPa nižší pevnosti R_f . Nejmenší pevnosti v tahu za ohybu byly naměřeny u vzorků záměsi V5. Pevnost v tlaku (R_c) byla zaznamenána největší u referenčních vzorků (bez), která výrazně převyšovala pevnosti (R_c) ostatních záměsí vzorků této sady.



Graf č. 26: Pevnosti vzorků jemné dekorativní omítky (JD) ve vlhkostně normálním prostředí

U sady vzorků hrubé omítky (viz. Graf č. 27) byla naměřena největší pevnost v tahu za ohybu u vzorků s nátěry Lukofobu 39 (Ln) a vodního skla (Vn), která byla dokonce nepatrně větší než pevnost (R_f) referenčních vzorků. Nejmenší pevnosti v tahu za ohybu byly zaznamenány

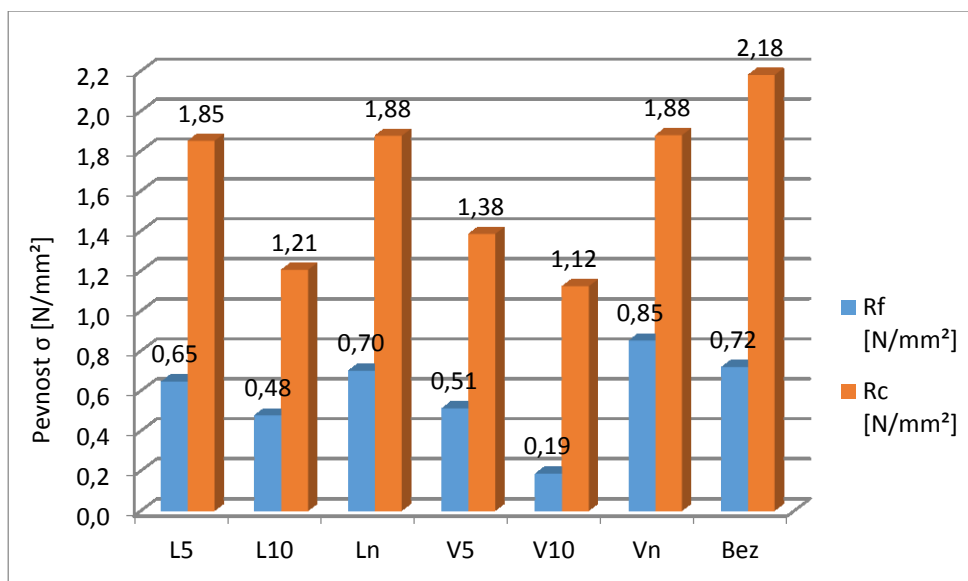
u vzorků s náhradou záměsové vody z 10 % vodním sklem (V10). Také pevnosti v tlaku byly zaznamenány největší u vzorků s nátěry Vn a Ln, jejichž hodnoty pevnosti $R_c = 2,9$ MPa. Mezi vzorky s nejmenší pevností v tlaku opět patřily záměsi s náhradou 10 % a 5 % vodního skla v záměsové vodě (V10 a V5).



Graf č. 27: Pevnosti vzorků hrubé omítky (HR) ve vlhkostně normálním prostředí

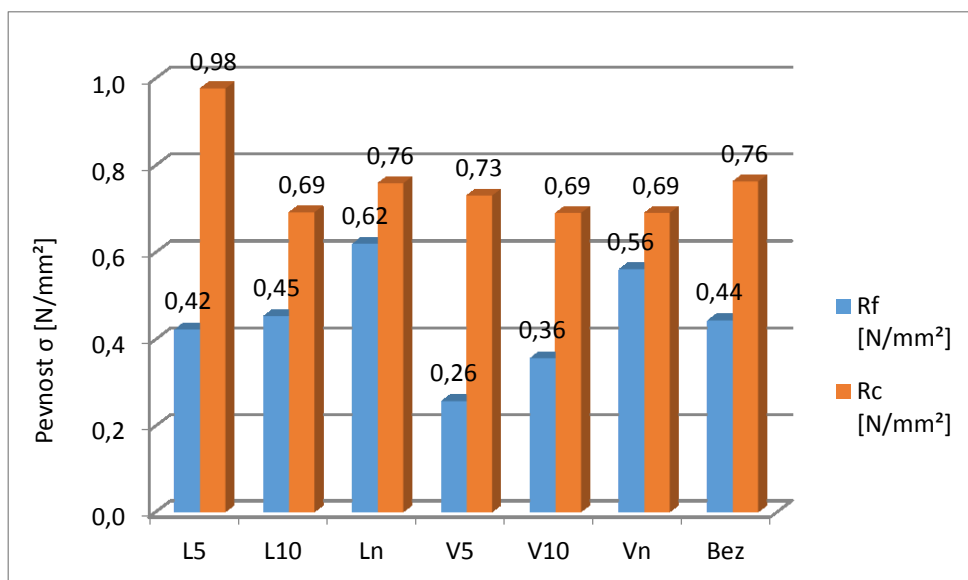
Pevnosti měřené při relativní vlhkosti vzduchu 80 % a teplotě 15 °C

U sady vzorků jemné omítky (viz. Graf č. 28) dosáhly nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu (R_f) vzorky natřené vodním sklem (Vn), další záměsi vzorků dosahovaly přibližně stejných pevností v tahu. Výjimkou byla záměs vzorků V10, která vykazovala výrazně nižší pevnosti (R_f). Největší pevnost v tlaku byla dosažena u referenčních vzorků. Z modifikovaných vzorků měly největší pevnost v tlaku záměsi Vn, Ln a L5. Nejnižší pevnost v tlaku byla naměřena u vzorků V10.



Graf č. 28: Pevnosti vzorků jemné omítky (J) v mokřém vnitřním prostředí

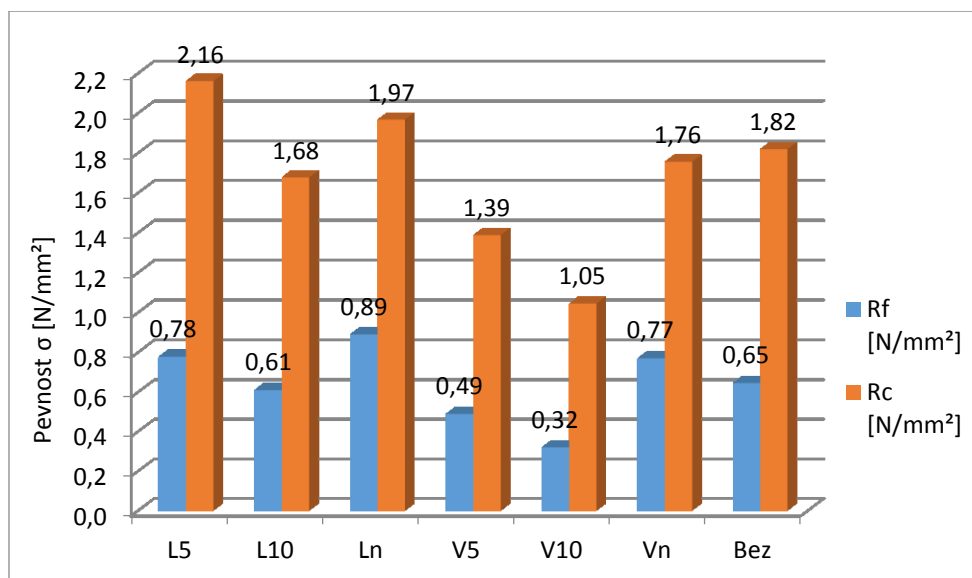
U sady vzorků jemné dekorativní omítky (viz. Graf č. 29) bylo největší pevnosti v tahu za ohybu naměřeno u natřených vzorků Lukofobem 39 (Ln) a naopak nejmenší pevnosti byly zaznamenány u vzorků V5. Nevyšší pevnost v tlaku, dosahující téměř 1 MPa, byla zaznamenána u vzorků L5. Pevnosti v tlaku ostatních vzorků se pohybovaly kolem 0,7 MPa.



Graf č. 29: Pevnosti vzorků jemné dekorativní omítky (JD) v mokřém vnitřním prostředí

U sady vzorků hrubé omítky (viz. Graf č. 30) byly nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu naměřeny u vzorků s nátěrem Lukofobu 39 (Ln). Naopak nejnížší pevnosti v tahu za ohybu vzorků modifikovaných V10 byly skoro 3 krát nižší než u nátěru (Ln). Co se týče pevnosti

v tlaku, nejvyšší byla naměřena u vzorků s náhradou 5 % Lukofobu 39 v záměsové vodě (L5) a nejnižší pevnost v tlaku u vzorků s náhradou 10 % vodního skla (V10).



Graf č. 30: Pevnosti vzorků hrubé omítky (HR) v mokré vnitřním prostředí

6.10 Stanovení přídržnosti malt k podkladu

Zkouška přídržnosti je testovaná podle normy ČSN EN 1015-12

Podstatou této zkoušky je určení maximálního napětí v tahu, které je vyvozené kolmo působícím zatížením k povrchu malty. Tahové zatížení vytváří odtrhové zařízení (COMING) (viz. Obr. č. 40) a je přenášeno prostřednictvím kruhového terče o průměru 50 mm, který je přilepený na povrchu malty. Přídržnost malty se vyjádří podílem maximálního tahového zatížení ke zkoušené ploše.



Obr. č. 40: Měření síly odtrhu pomocí zkušebního stroje COMING [Autor J.Hapl]

Jako podkladní materiál byla použita plná pálená cihla, na které byl vytvořen adhezní můstek. Tento hliněný přínavostní nátěr³ byl nanesen v tenké vrstvě o mocnosti cca 1 až 2 mm, na nějž se po jeho zatuhnutí nanášela finální vrstva hliněné omítky v tloušťce vrstvy 5 mm (viz. Obr. č. 41). Tato tloušťka byla zvolena jako limitní, jelikož při větší tloušťce vrstvy hliněné omítky může dojít vlivem hydratace k tvorbě trhlin.



Obr. č. 41: Síla vrstvy omítky měřená příložnou srovnávací kartou [Autor J.Hapl]

Podle předepsaných technických listů výrobce by se ovšem měly jemné omítky nanášet v tloušťce vrstvy 2 mm až 3 mm (viz. Příloha č. 1) a jemné dekorativní omítky (JD) v tloušťce vrstvy 1 mm až 1,5 mm (viz. Příloha č. 3). Z toho důvodu byly provedeny nové zkoušky přídržnosti na deklarovaných tloušťkách vrstvy nanášené omítky, které byly opět nanášeny na přínavostní nátěr, který byl tentokrát smíchan s pískem (frakce 0 – 2 mm) v poměru 1:2, aby se docílilo lepšího propojení s podkladem.

Na vyzrálý povrch zkoušené malty se pryskyřičným lepidlem (dvousložkové lepidlo Sikadur – 31 CF Rapid) přilepí kruhové terče tak, aby jejich osová vzdálenost byla minimálně 10 cm. Po vytvrzení lepidla (24 hodin) se například pomocí úhlové brusky vyřízne plocha omezená kruhovým terčem asi do 2 mm hloubky podkladu. Zkušební plochy terče, poškozené (odlepené) již v této fázi, se ze zkoušky vyloučí. Poté se na zatěžujícím přístroji COMING nastaví rychlost zatížení 0,08 N/(mm².s) a provede se odtrh. Výsledné hodnoty přídržnosti se zaokrouhlují na tři desetinná místa [N/mm²] z důvodu poměrně nízkých naměřených hodnot. Výsledné přídržnosti, které se výrazně liší od průměrné přídržnosti, se vyřadí, stejně tak jako porušené terče při prořezu.

³ Hliněný přínavostní nátěr složený pouze z hlíny a jílu

Výpočet přídržnosti (f_u) je dána následujícím vztahem (10) [9]:

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (10)$$

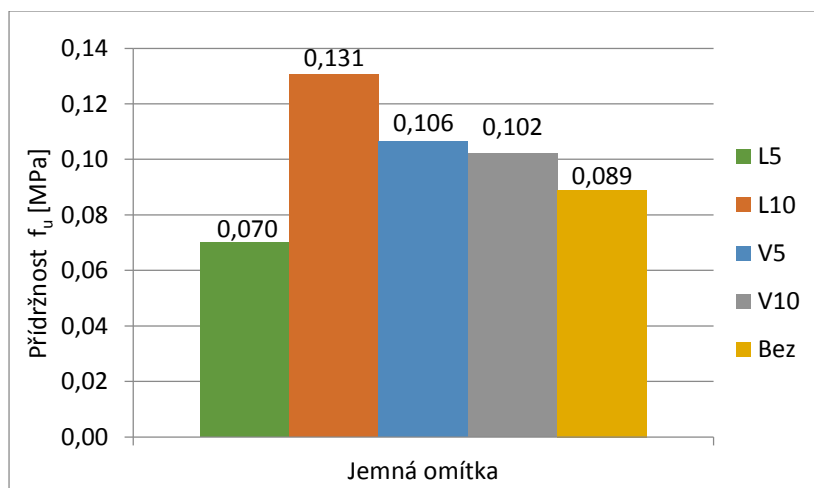
,kde F_u ... zatěžující tahová síla [N];

A ...táhem zatěžovaná plocha [mm^2].

Výsledné hodnoty přídržnosti se zaokrouhlovaly na tři desetinná místa (z důvodu malých přídržností). Z výsledných hodnot přídržnosti nelze odvodit jednoznačný závěr a to převážně z důvodu malého počtu provedených zkoušek, které navíc vykazovaly výrazně odlišné hodnoty přídržnosti.

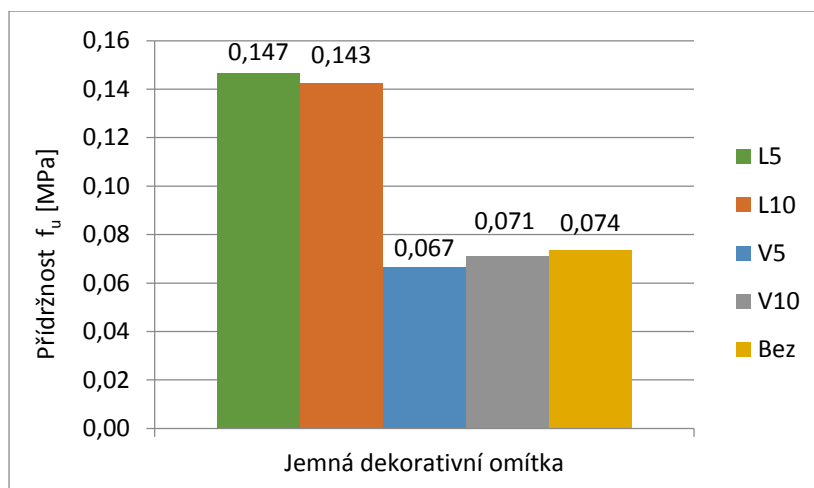
Přídržnost omítek s tloušťkou vrstvy 5mm, nanesených na hliněný přílnavostní nátěr (viz. Příloha č. 9)

U vzorků jemných omítek (viz. Graf č. 31) dosáhly největší přídržnosti vzorky L10, jejichž průměrná přídržnost $f_u = 0,131\text{MPa}$, následně to byly vzorky s modifikací vodního skla V5 a V10. Naprosto nejnižší přídržnosti byly naměřeny u vzorků s modifikací L5.



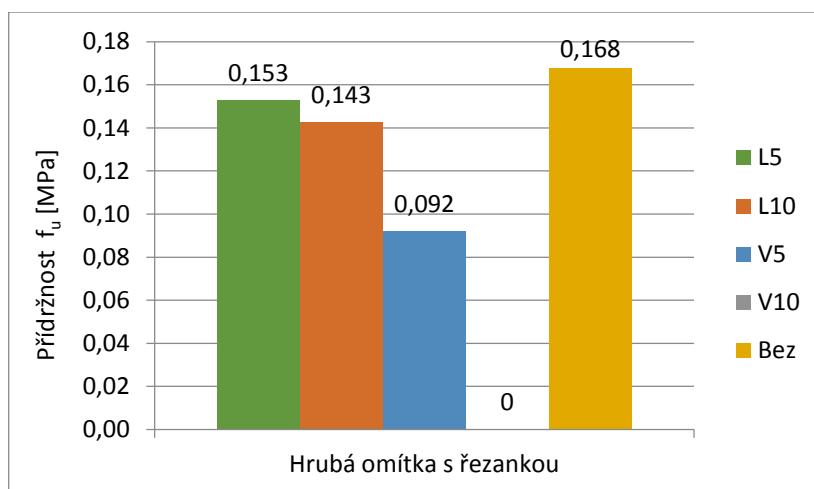
Graf č. 31: Přídržnost naměřená na zkušebních vzorcích jemné omítky (J)

Největší přídržnosti jemných dekorativních malt (viz. Graf č. 32) byly naměřeny u modifikačních úprav prostředkem Lukofob 39 (L5, L10), jejichž průměrná přídržnost přesahovala 0,14 MPa. Naopak nejmenší přídržnosti vykazovaly vzorky upravené vodním sklem (V5 a V10) a vzorky referenčních malt, u kterých se přídržnost pohybovala kolem 0,07 MPa.



Graf č. 32: Přidržnost naměřená na zkušebních vzorcích jemné dekorativní omítky (JD)

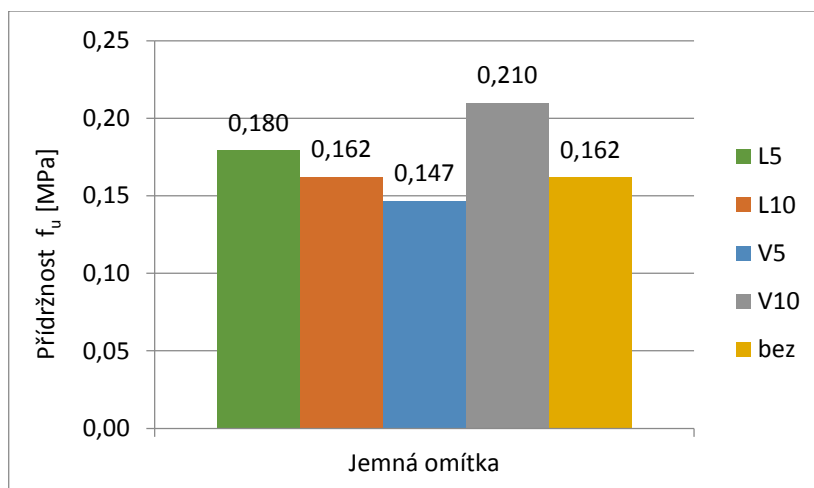
U sady vzorků hrubé omítky (viz. Graf č. 33) dosáhly největší přidržnosti referenční vzorky (bez). Z modifikačních vzorků dopadly nejlépe vzorky s přípravkem Lukofob 39 (L5 a L10). Nejnížší přidržnosti byly naměřeny u vzorků upravených vodním sklem (V5) a u vzorků V10 nebyla přidržnost z důvodu primárního porušení terčů vůbec změřena.



Graf č. 33: Přidržnost naměřená na zkušebních vzorcích hrubé omítky (HR)

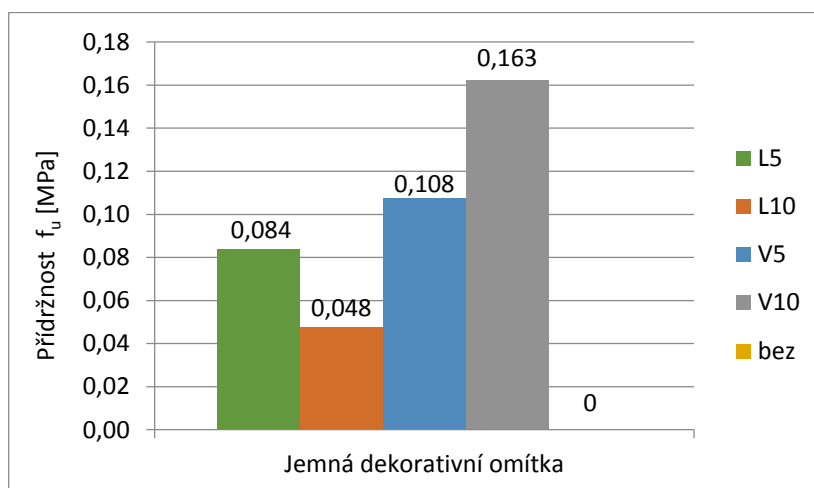
Přidržnost omítek s tloušťkou vrstvy 1 mm a 2 mm, nanesených na přílnavostní nátěr s frakcí (0 – 2) mm (viz. Příloha č. 10)

Ze sady jemných omítek (viz. Graf č. 34) dosáhly největší přidržnosti malty s náhradou 10 % vodního skla (V10), jejichž přidržnost $f_u = 0,21$ MPa. Ostatní vzorky jemné malty vykazovaly výrazně nižší přidržnosti, úplně nejnížší přidržnosti byly naměřeny u vzorků s náhradou záměsové vody 5 % vodního skla (V5).



Graf č. 34: Přidržnost naměřená na zkušebních vzorcích jemné omítky (J)

U sady vzorků jemné dekorativní omítky (viz. Graf č. 35) dosáhly největší přidržnosti záměsi s vodním sklem (V10 a V5). Vzorky modifikované Lukofobem 39 (L5 a L10) vykazovaly poloviční přidržnosti, které byly naměřené u vzorků V10 a V5. U referenčních vzorků nebyla přidržnost z důvodů porušení změřena.



Graf č. 35: Přidržnost naměřená na zkušebních vzorcích jemné dekorativní omítky (JD)

6.11 Stanovení otěruvzdornosti pomocí upravené Kučerovy vrtačky:

Spousta lidí si u hliněných omítek stěžuje právě na špatnou povrchovou odolnost, kdy povrchová vrstva nemá všechny zrnka písku pevně uchycené v matrici. Částičky písku se pak vlivem otěru uvolňují (sypou) a zanechávají nechtěné stopy. Z tohoto důvodu jsem vytvořil experimentální postup, který simuluje mechanické namáhání povrchu omítky.

Zkušební zařízení se skládá z Kučerovy vrtačky, třecího rýžového kartáče a mechanického stojanu (viz. Obr. č. 42). Hlavním přístrojem pro zkoušení je v tomto případě Kučerova vrtačka, pomocí které se docílilo stálého zatížení u všech vzorků, tedy stále stejnou silou

a po stejnou dobu. Kučerova vrtačky umožňuje zvolit stupně zatěžování (doby vrtání), což umožňuje zaručit konstantní dobu zkoušení. Síla přtlaku, působící na zkoušenou omítku, byla zajištěna stlačením pružiny, která u Kučerovy vrtačky udržuje stálou přtlakovou sílu ($F = 65\text{N}$ až 70N). V tomto experimentu je však na Kučerovu vrtačku místo vrtáku připevněn rýžový kartáč upravený do kruhového tvaru tak, aby docházelo k otěru omítky rovnoměrně na požadovaném místě (viz. Obr. č. 42). Stojan slouží k uchycení celého zařízení, aby byla omítka zatěžována lokálně na zvoleném místě.



Obr. č. 42: Zařízení sestavené ke zkoušení otěruvzdornosti hliněných omítek [Autor J.Hapl]

Podstatou zkoušení je zvážení hmotnosti zkoušeného vzorku omítky před provedením experimentu a po jeho odzkoušení. Takto se zaznamená rozdíl hmotností a provede se vizuální zhodnocení opotřeбенého povrchu omítky.

Zkoušená omítka nanesená na pálené cihle, případně na jiném materiálu se zváží s přesností na $0,01\text{ g}$ a zaznamená její hmotnost (m_1). Následně se zkoušený vzorek omítky umístí na podstavec mechanického stojanu tak, aby byl třecí kartáč nad zvoleným zkoušeným místem. Místo otěru se volí tak, aby bylo dobře pozorovatelné. Z tohoto důvodu je vhodné provádět zkoušku minimálně ve vzdálenost 20 mm od kraje omítky nebo od vedlejšího otěru (viz. Obr. č. 43).



Obr. č. 43: Jemná omítka s modifikací L10 - zkouška otěru vzdornosti [Autor J.Hapl]

Na Kučerově vrtačce se pomocí otáčivého prstence nastaví doba působení na 4. stupeň, což odpovídá době cca 6,5 s. Vlivem páky stojanu se celé třecí zařízení zatíží takovou silou, aby byla pružina stlačena právě do poloviny a třecí kartáč vyvíjel patřičný tlak na povrch zkoušené omítky. Stlačení se udržuje po celou dobu vrtání. Po zkoušce otěru se opět zváží hmotnost vzorku omítky (m_2) s přesností na 0,1 g.

Výpočet hmotnosti otěru m_o dle rovnice (11):

$$m_o = m_1 - m_2 \quad (11)$$

, kde: m_o ...hmotnost vydřené omítky [g];

m_1 ...hmotnost vzorku omítky před zkoušením [g];

m_2 ...hmotnost vzorku omítky po zkoušení [g].

Výsledkem zkoušky je vizuální zhodnocení zkoušené místa vůči okolnímu povrchu malty a vypočítaný rozdíl navážených hmotností zaokrouhlený na 0,01 g.

Naměřené hodnoty z této zkoušky dosahují výrazných odlišností (viz. Tabulka č. 16), proto nelze brát výsledky této zkoušky za jednoznačně průkazné, neboť povrch hliněných omítek závisí na kvalitě a způsobu nanášení. Z naměřených hodnot vyplývá, že největší otěruvzdornosti u sady vzorků jemné omítky bylo dosaženo u malt natřených vodním sklem (Vn), jejichž hmotnostní otěr vážil $m_o = 0,08\text{g}$, a u malt natřených Lukofobem 39 (Ln), u kterých byla hmotnost otěru vypočtena na $m_o = 0,11\text{g}$. Tyto výsledky, tedy že nejvíce otěru odolné jsou omítky ošetřené nátěrem, lze potvrdit i vizuálně (viz. Obr. č. 44).

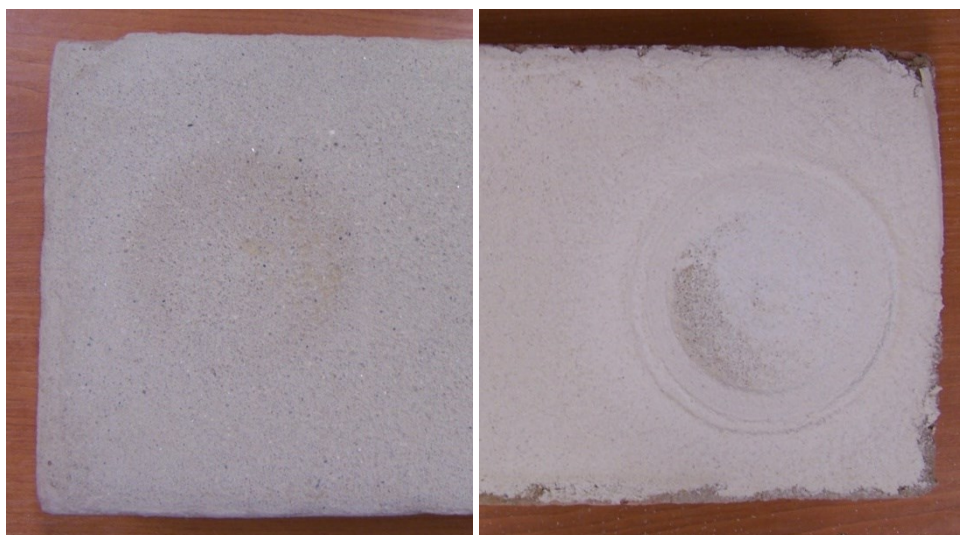
Tabulka č. 16: Hmotnosti otěru povrchu

Druh omítky	Modifikace	m ₁	m ₂	m ₀
		[g]	[g]	[g]
J	L5	3385,74	3385,34	0,40
	L10	3322,77	3321,77	1,00
	Vn	5118,40	5118,29	0,11
	V5	3400,42	3400,05	0,37
	V10	3416,15	3412,14	4,01
	Vn	5237,20	5237,12	0,08
	bez	4923,18	4922,40	0,78
JD	L5	4916,08	4910,93	5,15
	L10	5016,16	5005,03	11,13
	V5	4893	4889,61	3,39
	V10	4932,5	4932,16	0,34
	bez	4909,4	4905,44	3,96



Obr. č. 44: Porovnání otěruvzdornosti na zkoušených modifikacích
hliněné omítky [Autor J.Hapl]

Jednoznačně však lze říci, že hliněné omítky jemné (J) jsou odolnější vůči otěru než omítky jemné dekorativní (JD), jak je patrné z fotografií (viz. Obr. č. 45).



Obr. č. 45: Zleva jemná omítka (J), zprava jemná dekorativní omítka(JD) [Autor J.Hapl]

6.12 Vizuální zhodnocení

Vzorky jsou na fotografii (viz. Obr. č. 46) seřazeny do sloupců podle druhu omítky (zleva sada vzorků: jemné dekorativní omítky-JD, hrubé omítky-HR a jemné omítky-J) a podle modifikačních úprav do řádků (shora vzorky: Ln , Vn, V5, V10, L5, L10). Na vyobrazených vzorcích lze vidět, že výrazného odlišení je dosaženo u prvních dvou řad vzorků. První řada vzorků shora (Ln-nátěr Lukofobu 39) má na svém povrchu viditelné výluhy. Hned pod nimi se nachází řada vzorků s nátěrem vodního skla (Vn), u kterých je patrný lesklý povrch. U ostatních vzorků nedošlo k výrazné změně barvy či výskytu výluhů na jejich povrchu.



Obr. č. 46: Modifikované vzorky zkoušených omítkových malt [Autor J.Hapl]

6.13 Shrnutí výsledků

Při vytváření vzorků bylo zjištěno, že modifikované čerstvé směsi rychleji dehydratují než směsi omítek referenčních a musí být proto ihned zpracovávány. Nejvíce se tento jev projevil u záměsí s vodním sklem, což dokazují i výsledky zkoušky rozlití čerstvé směsi. To mělo za důsledek, že u směsí jemných dekorativních omítek byl upraven také čas zpracování na kratší dobu, z původních 30 minut na 5 minut. Rychlé tuhnutí čerstvé směsi mělo samozřejmě vliv také na zpracování, což dokazuje způsob plnění upravených malt do forem. Z výsledků tedy vyplývá, že pro lepší zpracování čerstvé malty je z modifikovaných záměsí výhodnější použít přípravek Lukofob 39.

Z výsledků objemových hmotností čerstvých směsí nelze vyhodnotit, která záměs je nejvhodnější, neboť výsledné hodnoty objemové hmotnosti jsou značně rozdílné. Lze pouze říci, že zkoušené hliněné směsi s hydrofobní přípravkem Lukofob 39 vykazují nižší objemové hmotnosti než u modifikovaných směsí vodním sklem.

Výsledky objemových hmotností ztvrdlých malt upravených prostředky Lukofob 39 a vodní sklo dopadly tak, že u jemné a hrubé omítky (J a HR) působily modifikační prostředky mimo jiné také jako vylehčující přísada, neboť jejich objemové hmotnosti na ztvrdlých trámečcích byly nižší než u referenčních vzorků malt. U sady vzorků jemné dekorativní (JD) byly naopak nejnižší objemové hmotnosti naměřeny u vysušených vzorků referenčních, což je pravděpodobně způsobeno jiným druhem jílu (kaolinit), který vytváří pojivo jemných dekorativních omítek.

Pro ověření, že se hydrofobní přípravky (Lukofob39 a vodní sklo) nachází v celé struktuře modifikovaných malt, byla na ztvrdlých vzorcích provedena termická analýza. Z výsledků termické analýzy lze prokázat, že přípravek Lukofob 39 i vodní sklo je rozptýlen v celé struktuře, což dokazuje shodnost určitých termických procesů s modifikovanými vzorky omítek (viz. Příloha č. 11)

Při zkoušení hygroskopických vlastností omítek bylo dosaženo výrazně odlišných vlhkostí mezi druhy hliněných omítek. Jediné vzorky, které vycházely u všech zkoušených druhů omítek stejně, byly vzorky opatřené nátěry Lukofobem 39 a vodním sklem. U obou takto upravených záměsí byly naměřeny nejmenší hmotnostní vlhkosti, které byly v některých případech až 3 krát nižší než vlhkosti dosažené u referenčních vzorků. Z toho vyplývá, že pro regulaci vlhkosti není úprava formou nátěrů u hliněných omítek vhodná.

Při zkoušení vztlínivosti bylo dosaženo nejmenších hodnot výšky vzlinutí na vzorcích modifikovaných Lukofobem 39, jejichž výsledné hodnoty byly až 6 krát nižší než u referenčních vzorků. Naopak nejvyšší hodnoty vzlinutí byly naměřeny u vzorků s náhradou 5 % a 10 % vodního skla v záměsové vodě (V5, V10). Nejlépe tedy dopadly vzorky (Ln, L10 a L5), které by tak nejlépe odolávaly kapilárně vztlínající vodě, což dokazují i výsledky normové zkoušky kapilární absorpce vody (viz. kapitola 6.6).

V přímém kontaktu zkušebních vzorků s vodou, kdy byly trámečky zkoušených malt ponořeny do vody, dopadly opět nejlépe vzorky modifikované Lukofobem 39, zejména pak vzorky s náhradou 5 % a 10 % Lukofobu v záměsové vodě (L5 a L10).

Z hlediska pevnosti v tlaku (R_c) nebyly modifikované vzorky v suchém klimatickém prostředí příliš úspěšné, neboť kromě vzorků opatřených modifikačními nátěry (Ln a Vn) dosahovaly výrazně nižších pevností (R_c) než vzorky referenční. Naprosto nejnižší pevnosti v tlaku byly zaznamenány u vzorků modifikovaných vodním sklem formou přísad (V5 a V10). Se stoupající vlhkostí vzorků se pevnosti mezi referenčními a modifikovanými vzorky vyrovnávaly především u vzorků s nátěry.

Výsledky přídržnosti byly poměrně malé a nebyly příliš jednotné, což je způsobeno také malým počtem zkoušených vzorků, proto je nutné brát tyto výsledky s rezervou.

Některé články uvádějí, že nátěry prostředkem Lukofob 39 nebo vodní sklo neovlivňují barvu omítky. Toto tvrzení je ovšem zavádějící, neboť jak si lze prohlédnout na fotce, že barva omítky se s aplikací hydrofobního nátěru mění (viz. Obr. č. 47). Z vizuálního hlediska to lze zhodnotit, takto:

- Nátěr Lukofobem 39 zabarvuje povrch do tmavých odstínů a při nanesení větší vrstvy hrozí vznik výkvětů.
- Nátěr vodního skla způsobuje lesklý povrch, který také působí na zvýraznění barvy. Ovšem vodní sklo vytváří na povrchu vrstvičku, která při degradaci strhává společně s vrstvou naneseného vodního skla také část omítky.



*Obr. č. 47: Hliněná omítka: zleva nátěr Lukofobem 39, vodním sklem
a vpravo bez nátěru [Autor J.Hapl]*

Při silnější vrstvě Lukofobu 39, která se nestačí vsáknout do struktury materiálu, vzniká na povrchu materiál ve větší či menší míře výkvět (viz. Obr. č. 45). Z takto degradovaného materiálu byl odebrán vzorek výkvětu, který byl podroben termogravimetrické analýze. Z výsledného grafu termické analýzy vyplývá, že výkvět obsahuje látky uhličitanu draselného (viz. Příloha č. 12).

7 Závěr

Po dlouhé době útlumu hliněné omítky zažívají opět návrat mezi používané stavební materiály, čemuž vděčí především svému přírodnímu složení a pozitivním vlastnostem. Mezi výhodné vlastnosti patří tepelná akumulace a hlavně výborná regulace vlhkosti, která vytváří optimální vnitřní mikroklima. Ovšem právě zvýšená vlhkost způsobuje degradaci hliněných omítek. Proto se tato práce zabývá modifikací hliněných malt, která zajistí jejich hydrofobizaci a zároveň nebude vést ke snížení propustnosti vodních par. K modifikaci byly použity prostředky Lukofob 39 a sodné vodní sklo, které jsou založené na bázi křemičitanů a jsou běžně využívány k hydrofobizaci porézních materiálů formou nátěrů.

Hlavním smyslem zkoušení bylo pozorování a měření příjmu vlhkosti ztvrdlých malt a jejich výsledné pevnostní charakteristiky. Vzorky hliněných malt jemné, jemné dekorativní a hrubé s řezankou omítky (J, JD a HR) byly zkoušeny ve třech klimatických prostředích KP1 až KP3 (viz. Tabulka č. 14).

Vzorky modifikované sodným vodním sklem ve formě přísad (V5, V10) sice dosahovaly hned po referenčních vzorcích (bez) největší nárůst vlhkosti v jednotlivých klimatických prostředích, ale zároveň vykazovaly špatnou odolnost ve vodě (viz. Obr. č. 33), což dokazují i velmi malé hodnoty pevností. Dále bylo aplikováno vodní sklo na hliněné malty formou nátěru (Vn). Ovšem ani tento způsob nebyl příliš úspěšný. V tomto případě sice došlo ke zpevnění na povrchu i ve struktuře hliněných omítek, které se rovnalo, v některých případech dokonce převyšovalo referenční vzorky. Současně však tyto vzorky Vn dosahovaly nízkých vlhkostí a při ponoření do vody došlo k jejich deformaci.

U vzorků modifikovaných Lukofobem 39 byla zaznamenána výrazně vyšší odolnost vůči působení vlivů vody v kapalně formě (viz. Obr. č. 33). I když vzorky jemné i hrubé omítky modifikované přípravkem Lukofob 39 ve formě přísad (L5 a L10) nedosahovaly nejvyšších hmotnostních vlhkostí, byly přibližně srovnatelné se vzorky referenčními (bez). Z hlediska pevnosti byly sice u vzorků jemné a hrubé omítky (L5 i L10) v suchém klimatickém prostředí (KP1) zaznamenány nízké pevnosti oproti vzorkům referenčním, ale na rozdíl od vzorků referenčních si hodnotu pevnosti zachovaly i při zvýšené vlhkosti v mokřém prostředí (KP3). U jemných dekorativních omítek působil Lukofob 39 ve formě vzorků L5 a L10 zvláště příznivě, neboť L5 i L10 dosahovaly nejvyšších hmotnostních vlhkostí a zároveň se jejich pevnosti téměř vždy rovnávaly pevnostem referenčních vzorků omítek. Vzorky s nátěrem

Lukofobu 39 (Ln) vykazovaly přibližně stejné hodnoty vlhkosti i pevnosti jako u nátěrů vodním sklem (Vn). Navíc se na povrchu vzorků Ln tvořily špatně odstranitelné výkvěty.

Z těchto dosažených výsledků vyplývá, že použité nátěry hydrofobizátorů Lukofobem 39 ani sodným vodním sklem nejsou k modifikaci hliněných omítek vhodné. Vyloučit lze také úpravy sodným vodním sklem ve formě přísad (V5, V10) a to především z důvodů jejich slabé odolnosti ve vodě.

Za jedinou částečně úspěšnou modifikaci lze považovat přípravek Lukofob 39 ve formě přísady (L5, L10). Přesto že tyto vzorky s náhradou 5 % a 10 % Lukofobu 39 v záměsové vodě nedosahovaly takových hmotnostních vlhkostí jako referenční vzorky, při zvýšené vlhkosti nedocházelo k tak rapidnímu poklesu pevností je zejména pak modifikované vzorky (L5). Navíc vzorky (L5, L10) zůstaly jako jediné i po 46 hodinách umístění ve vodě neporušeny.

8 Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Tereze Majstríkové za její odborné vedení a cenné rady, které jsem využil při psaní diplomové práce.

Mé poděkování patří firmě Picas zvláště pak jejímu majiteli Michalu Navrátilovi, který mně ukázal proces výroby i použití hliněných omítek v praxi a v rámci této diplomové práce mi poskytnul materiály ke zkoušení.

Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům katedry Stavebních hmot a diagnostiky staveb za pomoc při provádění zkoušek a Laboratoři tepelných vlastností, reologie a koroze stavebních materiálů, projektu ICT CZ.1.05/2.1.00/03.0082 za umožnění bezplatného užívání klimatické komory.

9 Seznam použitých zdrojů

Technické normy:

- [1] ČSN 73 0540 – 3: *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*
- [2] ČSN 73 2582: *Zkouška otěruvzdornosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí*
- [3] ČSN EN 998 – 1: *Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky*
- [4] ČSN EN 1015 – 2: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt*
- [5] ČSN EN 1015 – 3: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*
- [6] ČSN EN 1015 – 6: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty*
- [7] ČSN EN 1015 – 10: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*
- [8] ČSN EN 1015 – 11: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*
- [9] ČSN EN 1015 – 12: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu*
- [10] ČSN EN 1015 – 18: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě*
- [11] ČSN EN 1015 – 19: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 19: Stanovení propustnosti vodních par zatvrdlými maltami pro vnitřní a vnější omítky*
- [12] ČSN EN 1015 – 21: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 21: Stanovení soudržnosti malt pro jednovrstvé vnější omítky s podkladem*
- [13] ČSN EN ISO 12570: *Tepelně vlhkostní chování materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě*

[14] ČSN EN ISO 12571: *Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků – Stanovení hygrokopických sorpčních vlastností*

[15] ČSN EN 13914-1: *Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek – Část 1: Vnější omítky*

[16] ČSN EN 13914-2: *Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek – Část 1: Příprava návrhu a základní postupy pro vnitřní omítky*

[17] ČSN EN ISO 14688-1: *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zatřídování zemin - Část 1: Pojmenování a popis*

[18] ČSN P 73 06: *Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení*

Literatura:

[19] BALÍK, M. *Odvhlčování staveb*, Praha: Grada, 2008, ISBN 978-80-247-2693-9

[20] BLAHA, M. *Omítky*, Praha: Grada 2004, ISBN 80-247-0898-1

[21] CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*, Praha: Grada 2009, ISBN 978-80-247-2532-1

[22] MÁRTON, J. a kolektiv, *Stavby ze slaměných balíků*, Liberec 2010, ISBN 978-80-254-6610-0

[23] MINKE, G. *Příručka hliněného stavitelství*, Bratislava 2009, ISBN 978-80-969698-2-1

[24] KOLEKTIV AUTORŮ *Organokřemičitany v české památkové praxi*, Praha: NPÚ, 2008, ISBN 978-80-87104-15-6

[25] KOLEKTIV AUTORŮ *Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. Díl*, Praha: Idea servis, 2008, ISBN 978-80-85970-62-3

[26] KOLEKTIV AUTORŮ *Zdraví a krása*, Praha: ČVUT 2008, ISBN 978-80-01-04012-6

[27] KOTLÍK, P. a kolektiv, *Stavební materiály historických objektů – materiály, koroze, sanace*, Praha: VŠCHT, 1999, ISBN 80-7080-347-9

[28] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky – chemické a technologické vlastnosti*, Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002, ISBN 80-866657-00-0

[29] WIEGLOVÁ, K. *Mechanika zemin*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, ISBN 978-80-7204-507-5

[30] WITZANY, J., et al. *PDR – poruchy, degradace a rekonstrukce*, ČVUT, 2010, ISBN 978-80-01-04488-9

[31] ŽABIČKOVÁ, I. *Hliněné stavby*, Brno 2002, ISBN 80-86517-18-7

Internetové adresy:

[32] http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=cihly_zkouseni

[33] http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/clanky/hydrofobizace-stavebnich-materialu_101418.html

[34] www.lucebni.cz

[35] www.picas.cz

10 Přílohy

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Technický list Jemné omítky série Econom

Příloha č. 2 Technický list Jemné dekorativní omítky série Art

Příloha č. 3 Technický list Hrubé omítky série Econom

Příloha č. 4 Technický list přípravku Lukofob 39

Příloha č. 5 Technologický předpis pro beztlakovou injektáž Lukofobem 39

Příloha č. 6 Technické parametry sodného vodního skla 36/38 Eurošarm

Příloha č. 7 Časový průběh výšky vztlínající vody

Příloha č. 8 Hmotnostní nárůst zkoušených omítek v čase

Příloha č. 9 Přídržnost zkoušených omítek tloušťky vrstvy 5mm

Příloha č. 10 Přídržnost zkoušených omítek tloušťky vrstvy 1 a 2mm

Příloha č. 11 Výsledné grafy termické analýzy zkoušených omítek

Příloha č. 12 Výsledný graf termické analýzy povrchového výkvětu

